

Федеральное агентство по образованию
Российский государственный профессионально-педагогический
университет
Уральское отделение Российской академии образования
Академия профессионального образования

РГППУ ИПИ

Институт электроэнергетики
и информатики

Е.Д.Тельманова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Электронный учебник

Общая теория электрических аппаратов

Аппараты высокого напряжения

Аппараты низкого напряжения

Электронные аппараты

УДК
ББК
Т31

Тельманова Е.Д. Электрические и электронные аппараты: учеб. пособие. /Е.Д.Тельманова,— 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2010 г.

ISBN

В электронном учебнике рассматривается назначение, устройство и принцип действия аппаратов высокого и низкого напряжения эксплуатируемых в электроустановках российских предприятий. Рассмотрены вопросы теории электрических аппаратов.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 050501.19 Профессиональное обучение (электроэнергетика, электротехника и электротехнологии). Может быть полезно энергетикам предприятий. Содержащиеся в учебном пособии материалы позволят эффективно повышать квалификацию персонала обслуживающего электротехнические установки предприятий.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. А.А. Карпов (ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т»); канд. техн. наук, доц. Т.Ю. Паниковская (некоммерческое образовательное учреждение «УПИЭнерго»)

© ГОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет», 2010

© Тельманова Е.Д. 2010

ВВЕДЕНИЕ

Содержание настоящего учебного пособия и методика его формирования рассчитаны в первую очередь на инженерно-технических работников, не являющихся специалистами в области электрических и электронных аппаратов, но связанных с применением и эксплуатацией электронных устройств и аппаратов и желающих получить представление об основных принципах работы этих устройств. Разработанное учебное пособие может быть также использовано учащимися различных технических учебных заведений при изучении дисциплин электроэнергетического цикла.

Электрические и электронные аппараты в настоящее время разрабатываются на основе глубоко разработанных теоретических основах. Достижения в области полупроводниковых технологий позволили значительно расширить функциональные возможности электрических аппаратов и соответственно области их применения.

Устройство современных электрических аппаратов, позволяет управлять потоками электроэнергии не только в целях ее преобразования из одного вида в другой, но и для распределения, организации быстродействующей защиты электрических цепей, компенсации реактивной мощности и др. Эти функции, тесно связаны с традиционными задачами электроэнергетики.

Освоение промышленностью силовых полупроводниковых устройств электроэнергии интенсифицировало проведение в этой области научно-исследовательских работ и создание новых технологий. С учетом специфики силовых полупроводниковых приборов были уточнены старые и разработаны новые методы анализа схем. Значительно расширились классы схем автономных инверторов, преобразователей частоты, регуляторов постоянного тока и многие другие, а также появились новые виды устройств силовой электроники: статические контакторы с естественной и искусственной коммутацией, тиристорные компенсаторы реактивной мощности, быстродействующие аппараты защиты с ограничителями напряжения и др.

Одной из основных областей эффективного использования электронных аппаратов стал электропривод. Для электропривода постоянного тока разработаны [тиристорные агрегаты](#) и [комплектные устройства](#), успешно используемые в металлургии, станкостроении, на транспорте и других отраслях промышленности.

Электрический аппарат – это электротехническое устройство для управления электрическим током, или механическими нагрузками, или различными техническими параметрами работающего оборудования.

Управление током – это коммутация, стабилизация, регулирование и преобразование электрического тока.

Многообразие электрических аппаратов, их непрерывное развитие не дает возможности их строго классифицировать. Единого стандарта, классифицирующего аппараты, нет. Поэтому предпочтем классификацию аппаратов, которая широко используется на практике.

Электрические аппараты могут быть разделены на следующие группы:

- **Коммутационные аппараты** (разъединители, короткозамыкатели, переключатели, контакторы, электрические реле, контроллеры, пусковые и пускорегулирующие реостаты и т.п.).
- **Защитные и контрольные аппараты** (предохранители, разрядники, ограничители перенапряжений, трансформаторы тока и напряжения).
- **Токоограничивающие аппараты** (реакторы токоограничивающие).
- **Регулирующие аппараты** (регуляторы напряжения, тока, частоты вращения и др.).

Аппараты каждой группы разделяются:

- **По напряжению** (низкого напряжения до 1000 В и высокого напряжения свыше 1000 В).
- **По роду тока** (постоянного тока, переменного тока промышленной частоты, переменного тока повышенной частоты).
- **По роду защиты от окружающей среды** (открытого исполнения, защищенного, брызгозащищенного, водозащищенного, герметического, взрывобезопасного).
- **По способу действия** (электромагнитные, магнитоэлектрические, индукционные, тепловые и т.д.).
- **По быстродействию.**
- **По способу гашения дуги.**

Создать электрический аппарат, невозможно основываясь только на математическом расчете. Обычно математический расчет используется в качестве ориентиро

вочного действия, а исследование создаваемого электрического аппарата выполняется на макетах и натуральных образцах.

Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам, чрезвычайно разнообразны и зависят от назначения, условий применения и эксплуатации аппарата. Кроме специфических требований, относящихся к данному аппарату, все электрические аппараты должны удовлетворять некоторым общим требованиям:

- Допустимая температура нагрева не должна превышать некоторого определенного значения, устанавливаемого для данного аппарата и его деталей.

- Аппарат подвергается в течение определенного времени чрезмерно большим термическим и электродинамическим воздействиям тока короткого замыкания и перегрузки, однако он должен выдерживать эти воздействия без каких-либо деформаций.

- Электрическая изоляция аппарата должна обеспечивать надежную работу его при заданных значениях перенапряжения.

- Контакты аппаратов должны быть способны включать и отключать все токи рабочих режимов, а многие аппараты – также и токи аварийных режимов, которые могут возникнуть в управляемых и защищаемых цепях.

К каждому электрическому аппарату предъявляют требования по надежности и точности работы, а также по быстродействию.

Любой электрический аппарат должен по возможности иметь наименьшие габариты, массу и стоимость, быть простым по устройству, удобным в обслуживании и технологичным в производстве.

РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

1. ТЕПЛОВЫЕ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АППАРАТАХ

Для обеспечения надежной работы аппарата в пределах всего срока службы температура его частей не должна превышать некоторого определенного значения, называемого допустимой температурой, устанавливаемой стандартами. При этом различают допустимые температуры при номинальных режимах и допустимые температуры при коротких замыканиях

Так как длительность короткого замыкания мала (не более 5 секунд), а сами замыкания относительно редки, то допустимые температуры в этом случае в 2-4 раза выше, чем при длительном режиме работы.

Допустимые температуры изолированных проводников и деталей определяются нагревостойкостью изоляции, а также механической прочностью материала деталей. При температурах, превышающих 200°C , механическая прочность проводниковых материалов резко снижается. Для неизолированных деталей допустимая температура определяется механическими свойствами материалов, из которых они изготовлены, или свойствами материалов изоляционных деталей, с которыми они соприкасаются.

Допустимая температура контактов и контактных соединений определяется температурой, исключающей их интенсивное окисление.

Для нетоковедущих деталей: несущих, крепежных, защитных и других допустимые температуры определяются механической прочностью и условиями безопасной эксплуатации.

Способность аппарата выдерживать без повреждений и без превышения допустимой при коротких замыканиях температуры называется *термической стойкостью аппарата*, которая определяется величиной $\int i^2 dt$ – так называемым интегралом Джоуля, в котором ток не может превышать некоторого предельного значения соответствующего данному аппарату.

Рассмотрим электродинамические силы, действующие в электрических аппаратах, для чего возьмем прямолинейный проводник (рис. 1) длиной l , расположенный в магнитном поле с индукцией B . Если по нему пропустить ток i , то на него будет действовать сила:

$$F = i \cdot l \cdot B \cdot \sin\beta.$$

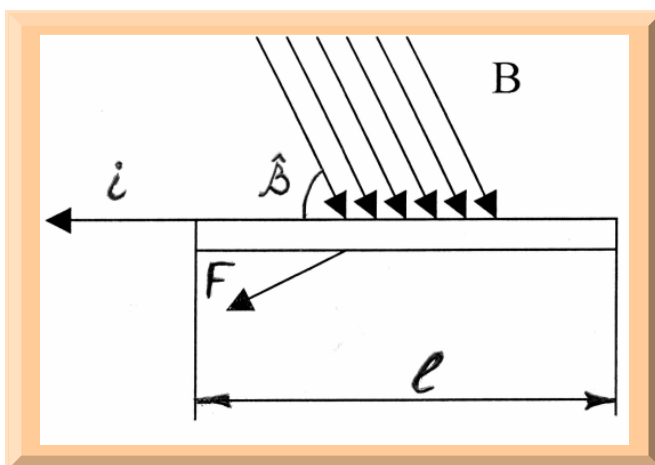


Рис. 1. Электродинамические силы в электрических аппаратах

Для системы из нескольких обтекаемых током проводников можно всегда представить, что любой из этих проводников расположен в магнитном поле, созданном токами других проводников, и взаимодействует с этим полем, т.е. между проводниками, охваченными общим магнитным потоком, всегда возникают механические силы. Эти силы называются электродинамическими. Под действием этих сил возникают деформирующие моменты (*изгибающие*).

При нормальных эксплуатационных условиях электродинамические силы, как правило, малы и не вызывают каких-либо деформаций, а тем более поломок деталей в аппаратах. Однако при коротких замыканиях эти силы достигают весьма больших значений и могут вызвать деформацию или разрушение не только отдельных деталей, но и всего аппарата. Это обстоятельство требует проведение расчета аппарата на электродинамическую устойчивость, то есть на способность выдержать без повреждений прохождение наибольшего возможного тока короткого замыкания. Он тем более необходим ввиду того, что с целью получения минимальных габаритов в аппаратах стремятся располагать токоведущие части как можно ближе друг к другу.

Электродинамические силы между параллельными проводниками при постоянном токе. Возьмем два параллельных проводника (рис. 2), расположенных на расстоянии «а» друг от друга и обтекаемых токами i_1, i_2 . Вектор индукции B перпендикулярен плоскости, в которой расположены проводники. Электродинамическая сила между проводниками, один из которых имеет бесконечную длину, определяется:

$$F = c \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot 10^{-7}$$

где: $c = \frac{2 \cdot l}{a}$ - коэффициент контура.

При конечной и равной длине проводников сила взаимодействия равна:

$$F = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{2 \cdot l}{a} \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l}$$

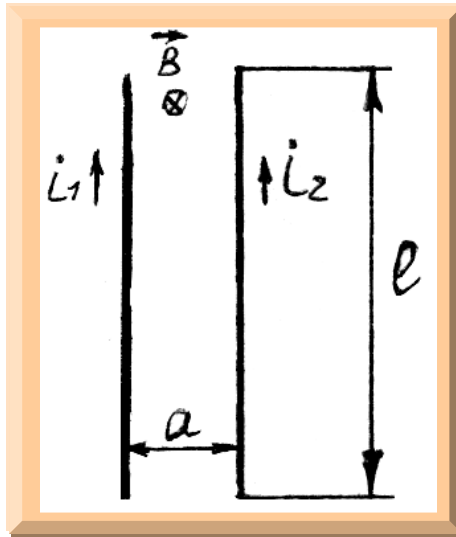


Рис. 2. Электродинамические силы между параллельными проводниками при постоянном токе

Электродинамические силы при переменном токе. Приведенные выше уравнения справедливы и для переменного тока, но в этом случае электродинамическая сила будет иметь переменное значение.

При однофазном переменном токе, когда $i = I_m \cdot \sin \omega t$ максимальное значение электродинамической силы определяется:

$$F = c_1 \cdot I_m^2 = 2c_1 \cdot I^2$$

Из формулы:

$$F = c_1 \cdot I_m^2 \cdot \sin 2\omega t = c_1 \cdot I_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

видно, что электродинамическая сила при переменном токе меняется с частотой, в два раза большей частоты тока.

Так как синус принимает значения угла от $+1$ до -1 , то сила будет изменяться от $F_{\max} = c_1 \cdot I_m^2$ до $F_{\min} = 0$, а значит максимальное значение электродинамической силы при одном и том же значении тока будет в два раза большим, чем при постоянном.

Кроме того, в момент короткого замыкания амплитуда ударного тока $i_{\text{уд.мах}}$ существенно превосходит амплитудное значение установившегося тока короткого замыкания:

$$i_{\text{уд.мах}} = (1 \dots 1,8) \cdot I_{\max} = k_{\text{уд}} \cdot I_m = k_{\text{уд}} \sqrt{2} \cdot I$$

где $k_{\text{уд}} = (1 \dots 1,8)$ – ударный коэффициент. Максимальное усилие, действующее на проводник с током, определяется:

$$F_{\text{уд.мах}} = c \cdot l \cdot i_{\text{уд.мах}}^2 = 6,48 \cdot c \cdot l \cdot I^2$$

Таким образом, при переменном токе электродинамическая сила почти в 6,5 раза больше, чем при постоянном токе.

Рассмотрим случай, когда даны три, расположенные в одной плоскости проводника, с трехфазным переменным током (рис. 3). Токи в фазах равны.

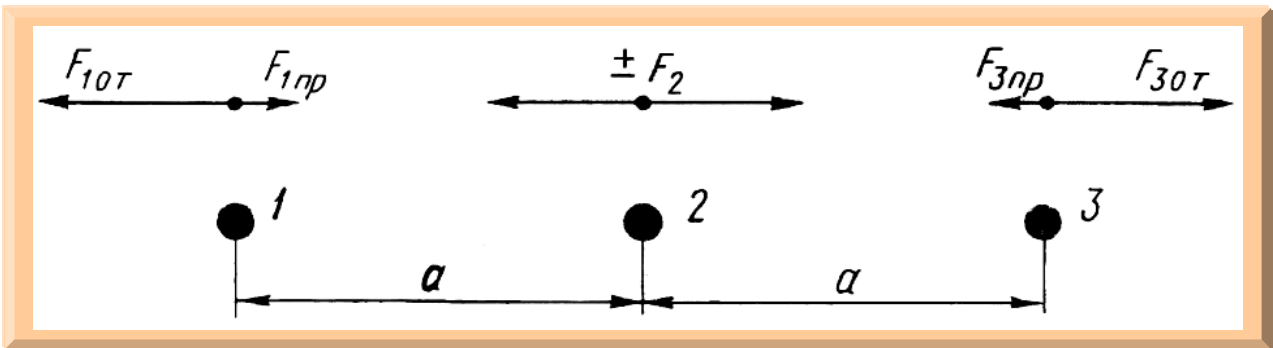


Рис. 3. Электродинамические силы при трехфазном переменном токе

Первый проводник будет взаимодействовать со вторым и третьим проводником. Электродинамические силы направлены встречно. Силы, действующие на третий проводник, будут такими же, как и силы, действующие на первый проводник, но обратными по направлению. Следовательно $F_{23} = F_{21} = F_{12}$. Максимальная сила, действующая на средний проводник, определится:

$$F_2 = \pm 0,87 \cdot F_{12} \cdot 2 \cdot I^2$$

где F_{12} – **электродинамическая сила взаимодействия между проводниками**. Таким образом, если проводники с трехфазным током расположены в одной плоскости, то сила, действующая на средний проводник, будет большей, чем сила, действующая на крайний проводник. Если в трехфазной сети имеет место однофазное, двухфазное или трехфазное короткое замыкание, то расчет ведется на тот вид короткого замыкания, при котором электродинамические силы являются наибольшими, т.к. токоведущие части аппарата должны противостоять силам, возникающим при любом виде короткого замыкания,

Если предположить, что при двухфазном и трехфазном коротком замыкании ударный ток в обоих случаях одинаков электродинамические силы будут большими при двухфазном замыкании. На практике ударный ток при двухфазном коротком замыкании меньше, чем при трехфазном. Поэтому расчет токов короткого замыкания рекомендуется вести всегда на случай трехфазного короткого замыкания.

ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ

Соприкосновение тел, обеспечивающее непрерывность электрической цепи, называется **электрическим контактом**.

Электрическое контактирование весьма сложное явление. Контактные поверхности всегда имеют некоторую шероховатость и, как правило, всегда покрыты пленками, которые образуются под воздействием кислорода воздуха, озона, азота и других химических реагентов. Пленки имеют толщину примерно до 10^{-6} см и удельное сопротивление $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Имеющаяся на поверхности металла пленка может быть в одних случаях продавлена силой, сжимающей контакты, в других случаях пробита под влиянием разности электрических потенциалов. В месте пробоя может образоваться металлический перешеек, проводящий электрический ток. Поэтому металлическое контактирование осуществляется не по всей поверхности площадки контактирования, а лишь в немногих точках (рис. 4).

Явление пробоя пленки при некотором напряжении называется **фриттингом**.

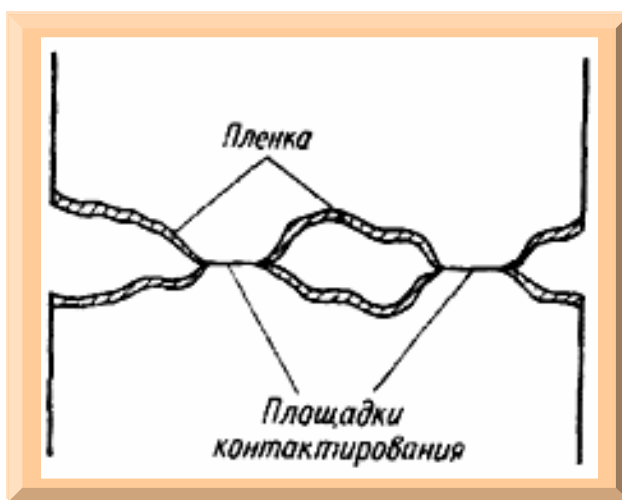


Рис. 4. Физические явления в электрическом контакте

По форме контактирования различают три вида контактов: точечный, линейный, поверхностный.

Точечный электрический контакт – электрический контакт, при котором соприкосновение рабочих поверхностей контакт-деталей происходит в точке

(рис. 5, а). Такое контактирование происходит при соприкосновении **поверхностей сфера – сфера, сфера – плоскость, вершина конуса – плоскость и т.п.**

Линейный электрический контакт – электрический контакт, при котором соприкосновение рабочих поверхностей контакт-деталей происходит по линии, например, цилиндр – цилиндр, цилиндр – плоскость, виток – виток (рис. 5, б).

Поверхностный электрический контакт – электрический контакт, при котором соприкосновение рабочих поверхностей контакт-деталей происходит по поверхности (рис. 5, в). Физическое контактирование происходит здесь в ряде точек-площадок (минимум в трех), расположенных на этой поверхности

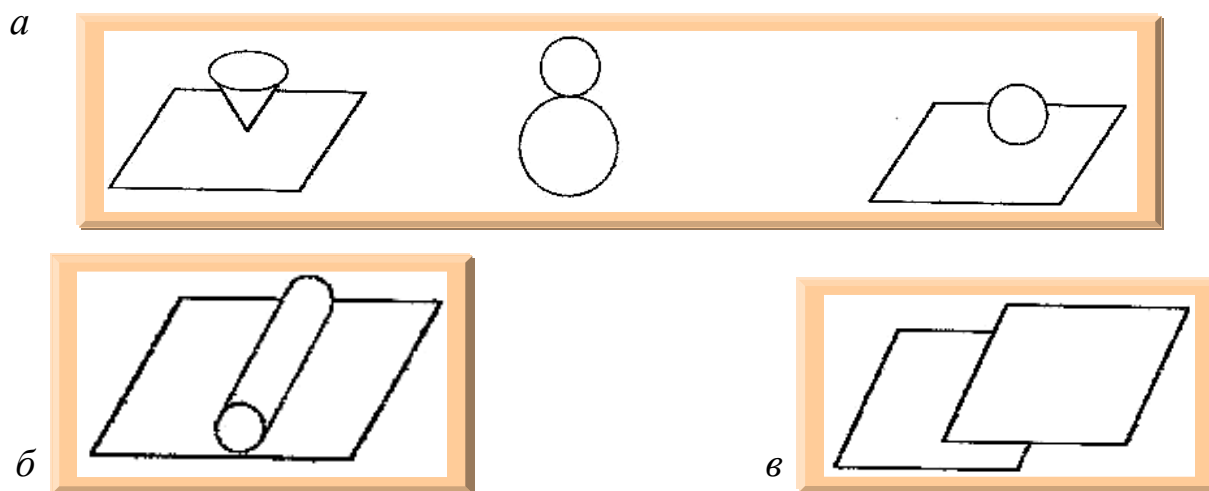


Рис. 5. Виды контактов: а - точечный контакт; б - линейный контакт; в - поверхностный контакт

Под **рабочей поверхностью** контакт-детали понимают часть поверхности контакт-детали, предназначенную для осуществления электрического контакта. При этом часть рабочей поверхности контакт-детали, по которой происходит соприкосновение с другой контакт-деталью, называют **условной площадью контактирования**, а ту часть условной площади контактирования, по которой электрический ток переходит из одной контакт-детали в другую – **эффективной площадью контактирования**.

Размеры площадок контактирования пропорциональны силе, сжимающей детали, и зависят от сопротивления смятию материала деталей. Если две детали контактируют в одной площадке, то ее размер в первом приближении определяется:

$$q = \frac{P}{\sigma}$$

где P – сила, сжимающая детали, σ – временное сопротивление материала смятию. Если детали контактируют в m площадках, то размер каждой площадки определится тем же уравнением, а размер общей площади будет равен сумме размеров отдельных площадок:

$$P' = \frac{P}{m}$$

С ростом силы сжатия рост размеров площадок соприкосновения замедляется, начинается осадка всей условной площади контактирования, поэтому увеличивать силы нажатия контактов выше определенного предела нецелесообразно.

Тип контакта определяется его назначением, значениями тока, контактного нажатия, конструкцией контактного узла и всего аппарата.

2.2. ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТА

В зоне перехода тока из одной контакт-детали в другую имеет место относительно большое электрическое сопротивление, называемое *переходным сопротивлением контакта* $R_{\text{пер}}$.

На основании опытных данных значение переходного сопротивления определяется выражением:

$$R_{\text{пер}} = \frac{\varepsilon}{P^n}$$

где ε – некоторая величина, зависящая от материала и формы контакта, способа обработки контакта и состояния контактной поверхности; P – сила, сжимающая контакты; n – показатель степени, характеризующий число точек соприкосновения. Для одноточечного контакта $n = 0,5$, для многоточечных $n = 0,7 \dots 1$, для линейного контакта $n = 0,7 \dots 0,8$, для поверхностного $n = 1$.

С увеличением числа точек соприкосновения переходное сопротивление электрического контакта уменьшается.

Значение величины ϵ зависят от состояния поверхности контактов, характера их обработки и особенно от степени их окисления. Для свежих, не окисленных и нормально обработанных односточечных контактов (обработка на станке, окончательная отделка шлифовальным напильником и смазка вазелином) можно принимать следующие значения ϵ в $\frac{\text{Ом}}{\sqrt{\text{Н}^2}}$:

Медь $1,0 \cdot 10^{-3}$
Серебро $0,5 \cdot 10^{-3}$

Зависимость переходного сопротивления от контактного нажатия представлена на рис. 6.

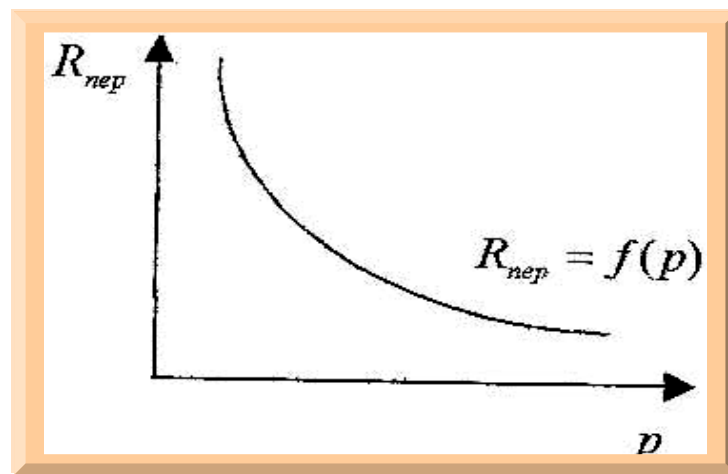


Рис. 6. Зависимость переходного сопротивления от контактного нажатия

Кривая $R_{пер} = f(P)$ соответствует процессу возрастания контактного нажатия. Следует отметить, что при одном и том же нажатии переходное сопротивление одного и того же контакта при каждом замыкании может быть разным и отличаться в достаточно широких пределах: в больших при малых нажатиях и в меньших при больших нажатиях (**более 100 Н**). Объясняется это тем, что число и размер площадок контактирования при каждом замыкании могут быть разными.

Зависимость переходного сопротивления от температуры. Переходное сопротивление контакта есть сопротивление металла проводника, поэтому оно

должно в той же мере зависеть от температуры. Для меди переходное сопротивление проводника в нагретом состоянии определяется:

$$R_{\text{пер.г.}} = R_{\text{пер.хол.}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot \theta \right)$$

где α – температурный коэффициент, θ – температура.

С ростом температуры переходное сопротивление вначале растет (**рис. 7**), затем при некоторой температуре (для меди и серебра при **200 - 300 °С**) происходит резкое снижение механических свойств материала. При том же нажатии увеличивается площадка контактирования, переходное сопротивление (участок II) резко падает. В дальнейшем (**участок III**) с ростом температуры сопротивление снова линейно возрастает, а при температуре плавления материала контакты свариваются, переходное сопротивление резко падает (**участок IV**).

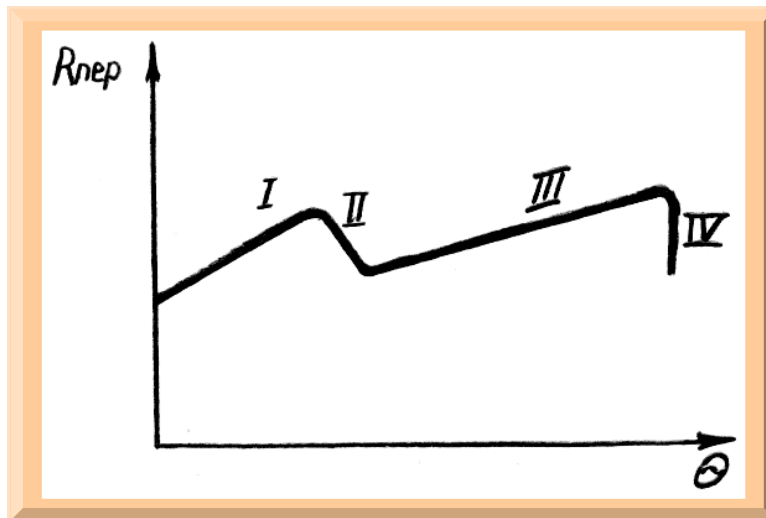


Рис. 7. Зависимость переходного сопротивления от температуры

Зависимость переходного сопротивления от состояния контактной поверхности. Шлифовка поверхностей не уменьшает, а, наоборот, увеличивает переходное сопротивление по сравнению с обработкой контактов напильником, т.к. при шлифовке бугорки на поверхности становятся более пологими, и смятие их затрудняется.

Зависимость переходного сопротивления от свойств материала контакта. Сопротивление открытых контактов чувствительно к окислению поверхности ввиду того, что оксиды многих металлов (в частности, меди) являются плохими проводниками. У медных открытых контактов вследствие их окисления с течением времени переходное сопротивление может возрасти в тысячи раз.

В процессе длительного пребывания под током на поверхности замкнутых контактов также возникают оксидные, плохо проводящие ток пленки, увеличивающие переходное сопротивление. Повышение температуры ускоряет рост поверхностных пленок и сокращает промежуток времени, приводящий к выходу контактов из строя. Повышение контактного нажатия, наоборот, затрудняет проникновение оксидных пленок к площадкам контактирования, повышая тем самым срок службы контактов.

Оксиды серебра имеют электрическую проводимость, близкую к проводимости чистого серебра. При повышенных температурах они разрушаются. Поэтому переходное сопротивление контактов из серебра, а также из серебрясодержащих металлокерамик практически не изменяется с течением времени. Оно даже может понизиться вследствие медленной пластической деформации материала в площадках контактирования.

Для медных контактов производят антикоррозионное покрытие рабочих поверхностей – серебруют, лудят, кадмируют, иногда никелируют и цинкуют. Применяют рабочее покрытие поверхностей нейтральной смазкой (например, вазелином) после зачистки их напильником.

Коммутирующие контакты, длительно работающие под током не выключаясь, выполняются, как правило, из серебра или металлокерамик на основе серебра. Рекомендуется аппараты с медными контактами периодически, после 8 – 12 часов работы, отключать 2 – 3 раза под током и снова включать. Возникающая при отключении дуга сжигает оксиды, и переходное сопротивление снижается. Во многих аппаратах (контакторы, автоматические выключатели) кинематическая схема предусматривает при замыкании некоторое проскальзывание одной контакт детали по другой (притирающийся электрический контакт). Оксидная пленка при этом стирается.

Чем выше электрическая проводимость и теплопроводность материала, тем ниже переходное сопротивление.

Влияние условной площади контактирования на переходное сопротивление. Переходное сопротивление мало зависит от размера условной площади контактирования. Все же с увеличением номинального тока надо увеличивать и внешнюю поверхность контакт-деталей, так как с ростом тока растут потери, и для их рассеяния требуется большая поверхность.

2.3. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОНТАКТОВ

Разборное контактное соединение. Применяется для жесткого соединения между собой отдельных токоведущих частей. Конструкция контактов должна обеспечивать надежное, неослабеваемое при эксплуатации прижатие рабочих поверхностей контакт-деталей и минимальное переходное сопротивление. Характерный вид такой конструкции – плоская шина. Шины выгоднее скреплять несколькими небольшими болтами, чем одним большим. В первом случае обеспечивается большее число точек соприкосновения, чем во втором. При стягивании шин накладками переходное сопротивление также оказывается ниже, чем при стягивании сквозными болтами.

Круглые проводники могут соединяться между собой и с плоскими проводниками, следующими способами. Концы проводников расплющиваются или снабжаются наконечниками, которые могут напаиваться, привариваться или плотно обжиматься. При токах до нескольких десятков ампер конец проводника может быть свернут в виде кольца (петли) и зажат болтом.

Коммутирующие контакты. Коммутирующие контакты являются основным элементом коммутационных аппаратов. На малые токи применяется одноточечное контактирование, чтобы при малых нажатиях получить относительно высокое удельное давление в контактной точке. При значительных токах – многоточечное контактирование.

По взаимному перемещению контакт-деталей контакты подразделяются на три группы: рычажные, торцевые и мостиковые, врубные, розеточные, роликовые.

По функциям, выполняемым контактами, различают одноступенчатые и многоступенчатые контакты. В многоступенчатых контактах сначала размыкаются основные контакты, а затем дугогасительные. Иногда в коммутационных аппаратах используются трех-ступенчатые контакты.

Рычажные контакты. Рычажные контакты применяются в аппаратах с подвижной поворотной системой (рис. 8). В контактах существуют две точки – начальная и конечная.

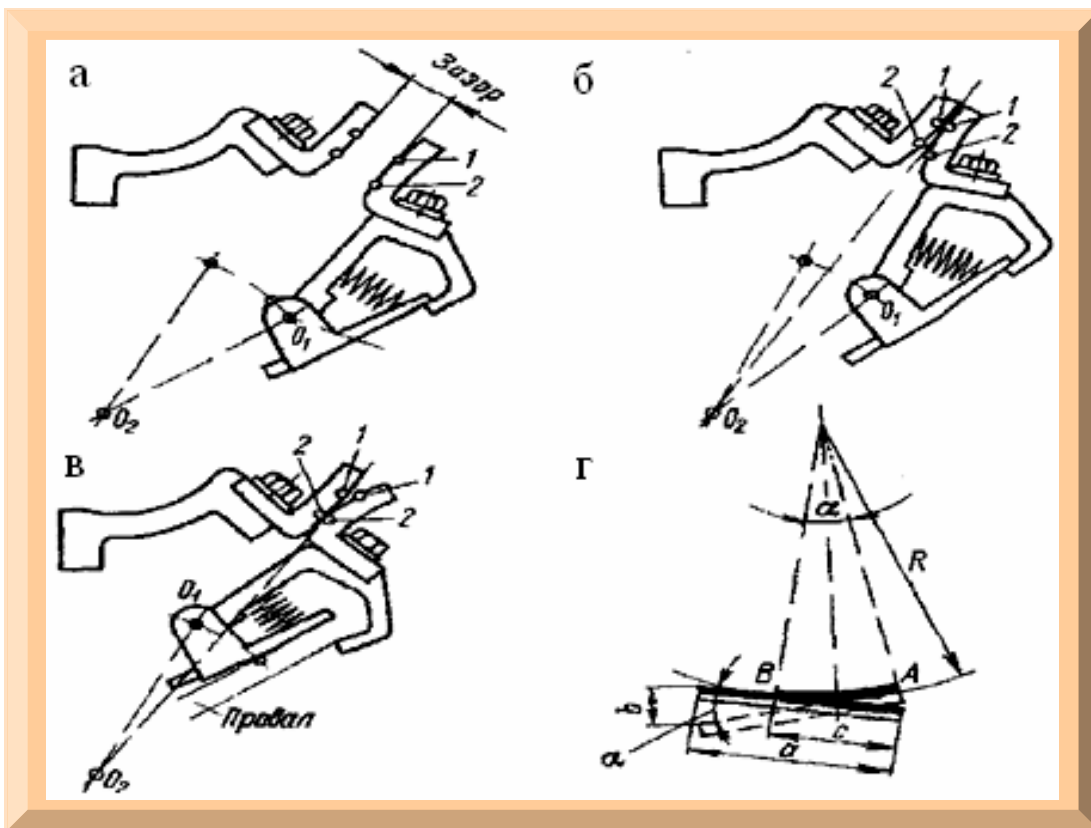


Рис. 8. Рычажные контакты: а, б, в, - кинематика движения;
г - к определению радиуса кривизны

Форма контакт деталей должна быть либо плоскость-цилиндр, либо цилиндр-цилиндр.

Мостиковые контакты. Применяются в аппаратах с прямоходной подвижной системой. В таких контактах требуется удвоенное контактное нажатие. Контактующие детали лучше выполнять из серебра или металлокерамики. Форма контакт деталей должна быть плоскость-плоскость, плоскость-сфера, цилиндр-цилиндр, сфера-сфера (на малые токи) **(рис. 9)**.

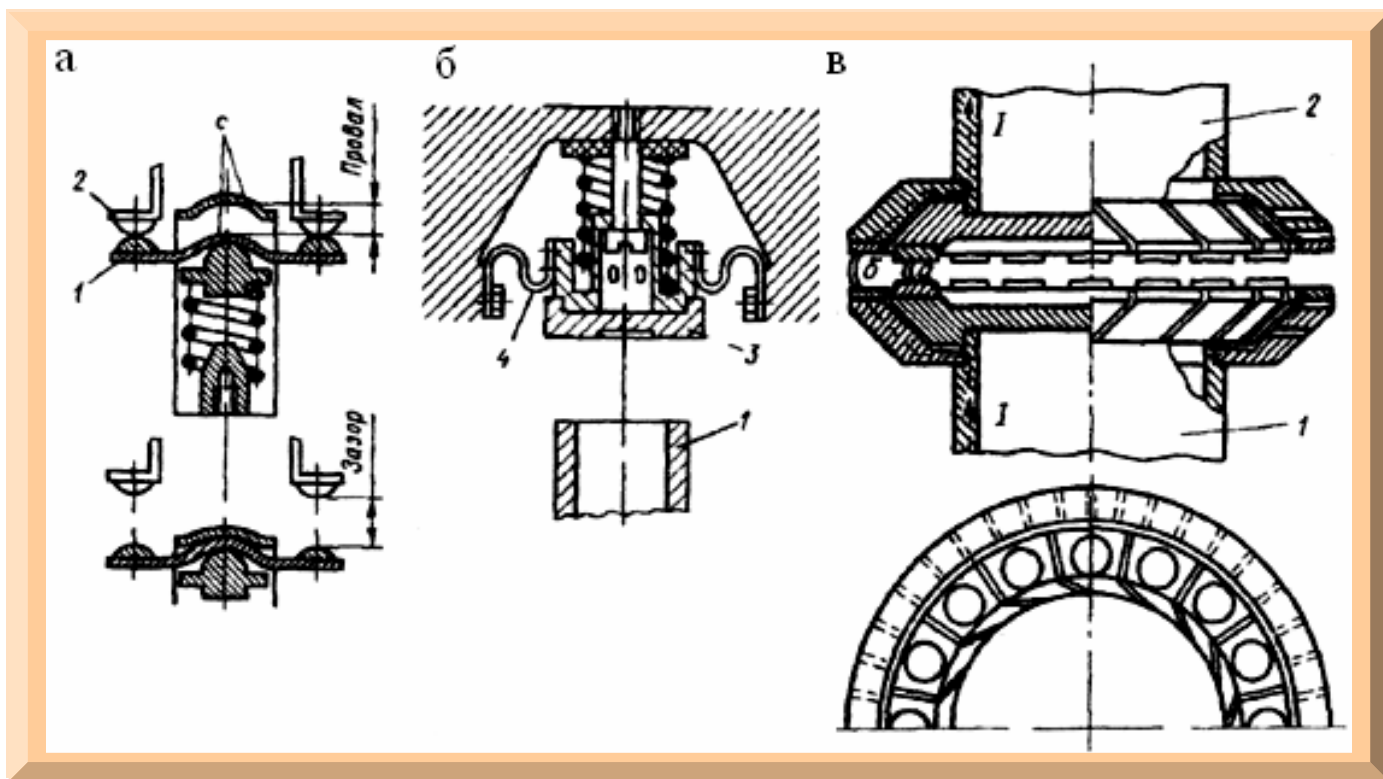


Рис. 9. Торцевые контакты: а - мостиковый; б - торцевой; в - торцевой многоточечный; 1 - подвижная контакт-деталь; 2 - неподвижная контакт-деталь; 3 - неподвижная контакт-деталь, перемещающаяся на величину провала; 4 - гибкая связь

Торцевые контакты. Выполняются в виде полых трубок или стержней. Торцевые контакты требуют большого нажатия, имеют большое переходное сопротивление и используются как дугогасительные.

Многоточечные торцевые контакты применяются на большие рабочие токи. Магнитное поле, образующееся в контактах, вызывает радиальную электромагнитную силу, которая перемещает дугу с внутренних контактов на внешние, поэтому внутренние контакты выполняют из материала с меньшей дугостойкостью (медь, композиции серебра), а внешние из материала с большей дугостойкостью (вольфрам).

В многоточечном контакте снижены электродинамические силы, отбрасывающие контакты, поэтому не требуется большого контактного нажатия.

Врубные контакты (рис. 10, а,б,в). Простейший представитель врубного контакта - предохранитель в контактных стойках **рис. 10, а**). В контакте такой формы имеется недостаток – ненадёжность контактов. Более совершенным контактом является врубной контакт рубильника, т.к. для более устойчивого нажатия контактный нож усилен стальными пружинами (**рис. 10, б**).

В высоковольтных выключателях применяются ламельные врубные контакты. Подвижный контакт выполняется в виде ламелей, неподвижный контакт имеет форму клина (рис. 10, в).

Розеточные контакты используются в качестве основных в высоковольтных выключателях.

Роликовые контакты используются для токосъёма с неподвижных контакт деталей.

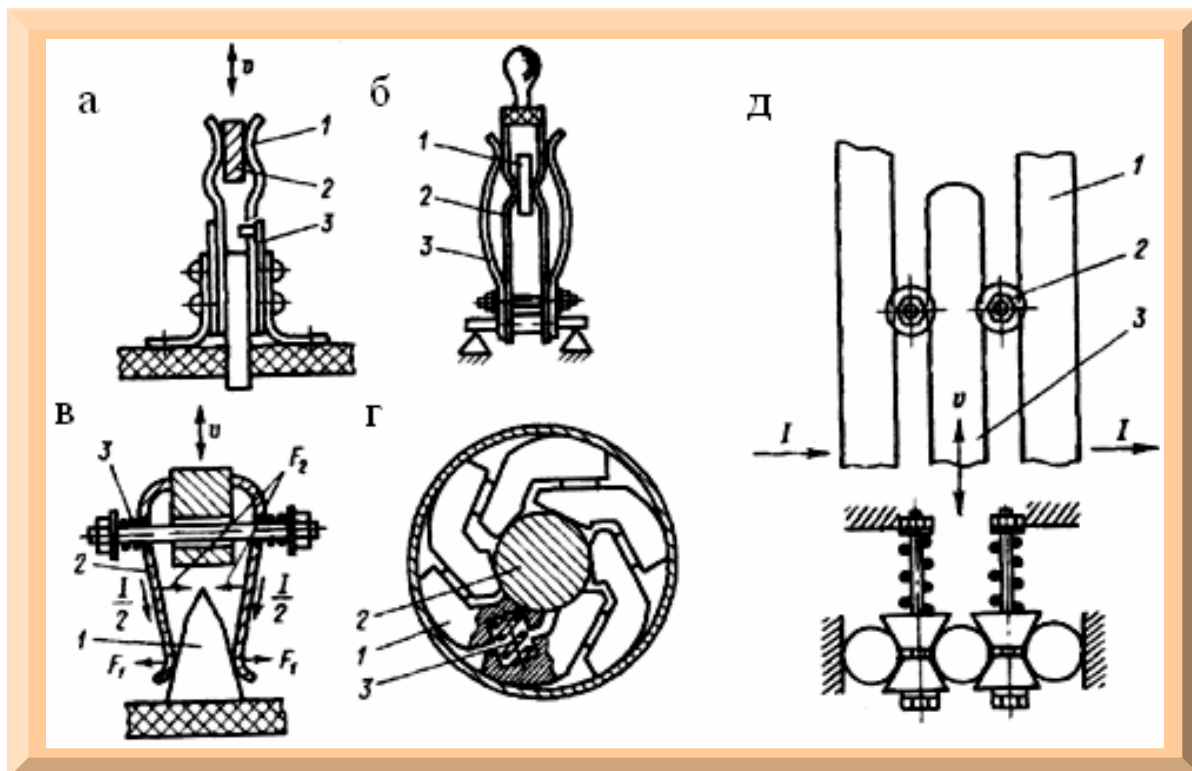


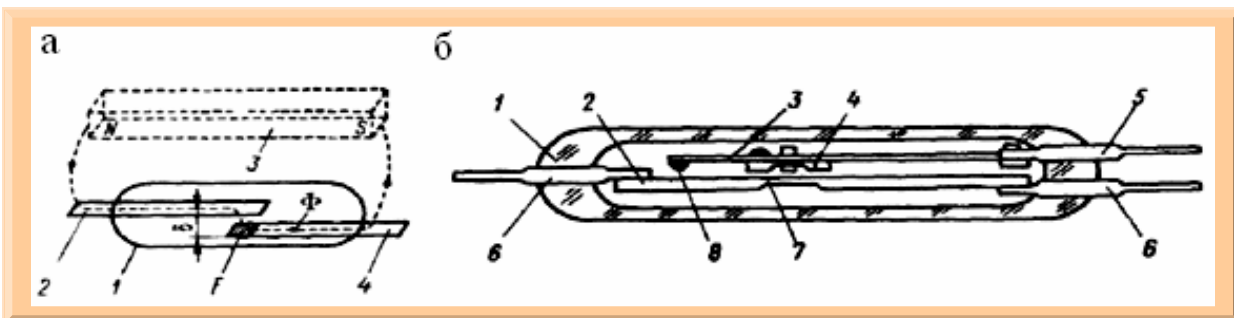
Рис. 10. Врубные контакты: а, б, в - врубные; г - розеточные; д - роликовые: 1 - контактная стойка; 2 - контактный нож; 3 - стальные пружины

Герметичные контакты. Герметичные контакты бывают двух видов: герконы и герсиконы.

Геркон - это магнитоуправляемый контакт. Простейший геркон представляет собой стеклянный баллон 1 с заключёнными в нём двумя электродами 2 и 4 из магнитного материала (рис. 11, а). Концы электродов покрываются благородным металлом. Чаще всего баллон заполнен инертным газом (азот, аргон, водород), но бывает вакуумированным. Управление контактами осуществляется магнитным полем катушки или постоянного магнита 3. Магнитный поток Φ , проходящий через электроды и воздушный зазор контактов б, при некотором его значении приводит к

замыканию рабочих поверхностей электродов. При ослаблении магнитного потока электроды за счёт своих упругих свойств размыкаются.

Электроды геркона выполняют функции контакта, магнитопровода и контактных пружин.



**Рис. 11. Герметичный контакт: а - принцип действия;
б - устройство**

Геркон состоит из подвижной и неподвижной контактных систем (рис. 10, б), впаянных в стеклянный баллон 1. Неподвижная контактная система представляет собой магнитопровод 2, содержащий участок уменьшенного сечения 7 и два вывода 6, подвижная система включает в себя вывод 5, контактную пластину 3 и якорь 4, установленный против участка магнитопровода уменьшенного сечения. Основные контакты образуются полюсными поверхностями якоря и магнитопровода, покрытыми материалом с высокой электропроводимостью. Дугогасительные контакты 8 состоят из напаяек, выполненных из тугоплавкого материала, установленных на магнитопроводе и конце упругого элемента.

В *герсиконе*, в отличие от геркона, применены различные детали для контактов и магнитопровода (рис. 12).

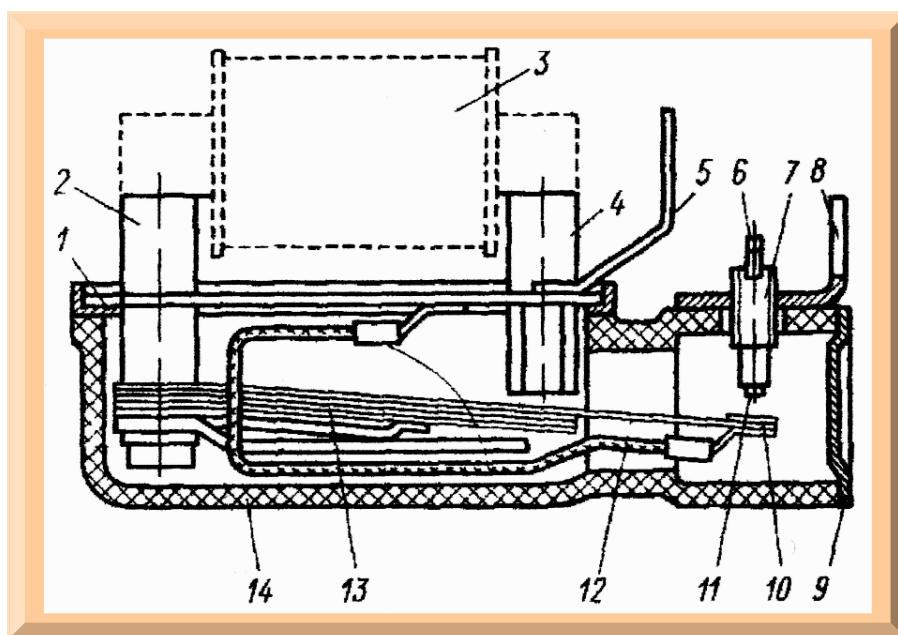


Рис. 12. Герсикон

Внутри герметичной оболочки (плата 1, корпус 14 и крышка 9) введены полюсы 2 и 4 электромагнита. Один полюс обеспечивает жёсткое крепление конца ферромагнитной пружины якоря 12, несущей подвижную контакт-деталь 10, а второй образует с этой пружиной рабочий зазор в цепи магнитопровода. Ферромагнитная пружина с наружной стороны шунтирована более тонкими ферромагнитными пружинящими пластинками 13, значительно увеличивающими общее сечение якоря электромагнита, но практически не повышающими противодействующее усилие. Это позволяет при относительно небольшой магнитодвижущей силе получить необходимое электромагнитное усилие. Магнитодвижущая сила создаётся катушкой 3 вне герсикона. Контакт-детали герсикона выполнены массивными с напайками из тугоплавкого материала. Подвод тока к подвижной контакт-детали осуществляется посредством гибкой связи высокой проводимости. Неподвижная контакт-деталь 11 крепится на конце специального регулировочного винта 7, введённого внутрь герметичной оболочки, что позволяет регулировать зазор, провал и контактное нажатие. Внешние зажимы 5 и 8 расположены вне герметичного корпуса.

Жидкометаллические контакты. В жидкометаллических контактах в качестве элемента размыкающего электрическую цепь используется ртуть и её амальгамы. Достоинства таких контактов очевидны:

- Малое переходное сопротивление.
 - Отсутствие необходимости в контактной нажатии.
 - Отсутствие отбрасывающих электродинамических сил в переходном контакте.
 - Отсутствие дребезга.
 - Отсутствие сваривания и залипания контактов.
 - Возможность работать при больших внешних давлениях, в вакууме, при высоких температурах.
 - Высокая механическая и коммутационная износостойкость.
- Однако у жидкометаллических контактов имеются и недостатки, которые до настоящего времени препятствуют их широкому применению:
- Высокая температура плавления.
 - Высокая стоимость жидких металлов и их сплавов.
 - Необходимость герметизации контактов.
 - Токсичность контактов.
- В настоящее время ведутся разработки коммутационных контактов, сочетающих в себе элементы твёрдометаллических и жидкометаллических контактов. Достоинства этих контактов заключаются в независимости их работы от пространственного положения и вибростойкость.

ГЛАВА 3. СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

3.1. ПРОЦЕССЫ КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

При размыкании двух контактов под током между ними возникает дуговой разряд. Возникновение и горение дуги в воздушном пространстве между контактами свидетельствует о *термической ионизации* воздуха. В процессе *ионизации* происходит отделение от нейтральных частиц свободных электронов и ионов. *Деионизация* воздушного промежутка между контактами является физической сущностью процесса отключения цепи.

Признаки дугового разряда или электрической дуги:

- ясно очерченная граница между стволом дуги и окружающей средой;
- высокая плотность тока в стволе дуги;
- высокая плотность тока на катоде и малое падение напряжения на нем (10 - 20 В);
- высокая температура внутри ствола дуги (5000 - 10000 К).

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) электрической дуги приведена на рис. 13.

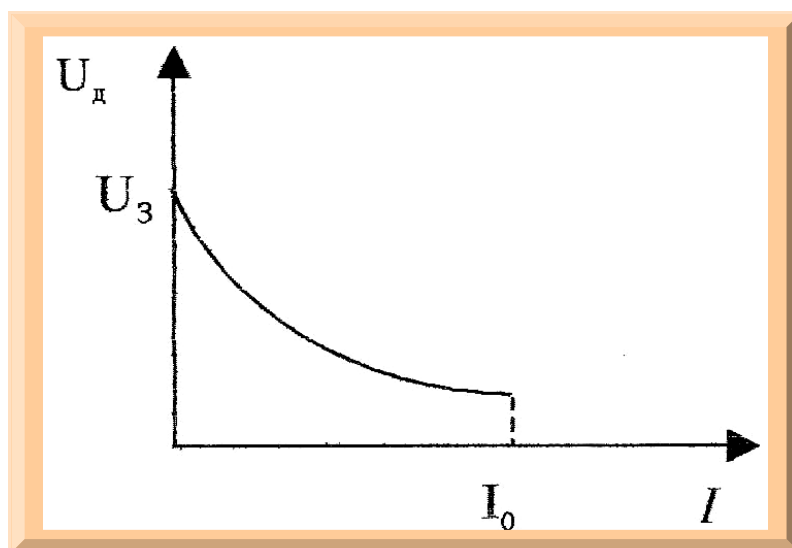


Рис. 13. Вольт-амперная характеристика дуги постоянного тока

Из графика следует, что можно создать условия для гашения дуги. Для этого ток в ней должен все время уменьшаться, а градиент напряжения в стволе дуги должен повышаться:

$$U_d > U - iR$$

где U – напряжение сети.

При переменном токе ток в дуге переходит через нуль каждый полупериод (рис. 14), что создаёт условия для гашения дуги, но гашение может и не произойти.

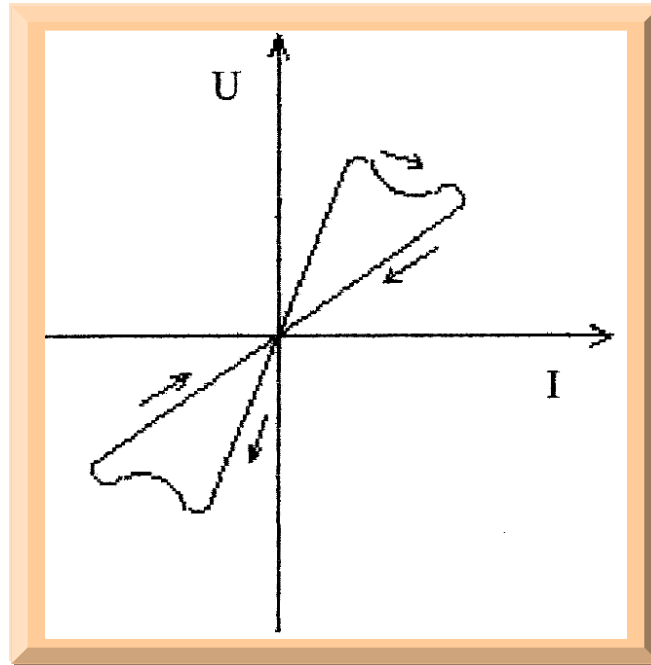


Рис. 14. Вольт-амперная характеристика дуги на переменном токе

3.2. СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Гашение дуги в продольных щелях. В современных аппаратах гашение дуги при отключении цепи осуществляется в дугогасительных устройствах, задача которых погасить дугу в малом объеме (желательно замкнутом), за малое время, при малом износе частей аппаратов, при заданных перенапряжениях, при малых звуковом и световом эффектах.

Весьма широкое распространение (особенно в низковольтных аппаратах) получили дугогасительные устройства, камеры которых имеют продольные щели

(рис. 15). Продольной называют щель, ось которой совпадает по направлению с осью ствола дуги. В таких камерах основное воздействие осуществляется на ствол дуги. Охлаждение ствола дуги (отбор энергии) происходит за счет движения дуги через неподвижный воздух и охлаждающего действия стенок камеры. Явления у электродов (их всего два) здесь можно учитывать при переменном токе и напряже

ниях ниже **220 В**. Движение дуги в устройствах с продольными щелями происходит за счет взаимодействия тока дуги с создаваемым внешним магнитным полем и полем контура тока.

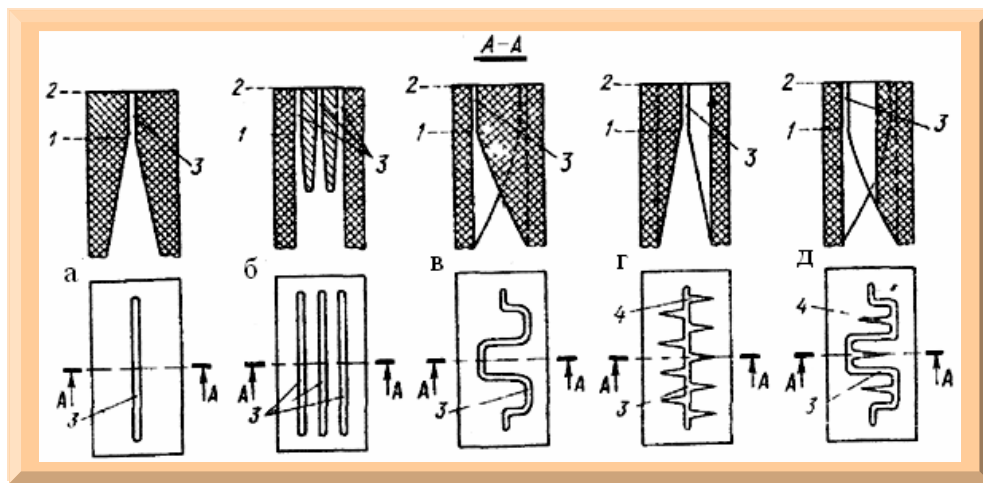


Рис. 15. Характерные формы продольных щелей

дугогасительных камер: **а** - продольная щель; **б** - параллельные щели; **в** - продольная извилистая щель; **г** - продольная щель с рядом ребер и уширений; **д** - комбинированная зигзагообразная щель с местными уширениями

В верхней части камеры (**рис. 15, а**) между точками **1** и **2** имеется одна прямая продольная щель **3** с плоскопараллельными стенками. В камере на **рис. 15, б** – несколько прямых параллельных щелей, аналогичных щели в камере на **рис. 15, а**. Несколько параллельных щелей применяют при отключении больших токов. Однако параллельные дуги существуют недолго. Они весьма неустойчивы и все, кроме одной, последней, быстро погасают.

На **рис. 15, в** показана камера с одной продольной щелью **3**, которой придана извилистая форма. При такой форме представляется возможным в камере небольших размеров уместить длинную дугу. Кроме того, наличие ребер способствует повышению напряжения на дуге.

Продольная щель с рядом ребер и уширений **4**, за счет которых происходит возрастание продольного градиента напряжения, изображена на **рис. 15, г**.

Камера (**рис. 15, д**) имеет комбинированную зигзагообразную щель **3** с местными уширениями **4**. В такой щели, по видимому, должны сочетаться все достоинства зигзагообразной щели с преимуществами, которые дают местные уширения.

Гашение дуги высоким давлением. Проводимость дугового промежутка зависит от степени ионизации газа, которая при постоянной температуре определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{p}}$$

С ростом давления степень ионизации уменьшается, теплопроводность газа растёт и происходит охлаждение дуги, деионизация возрастает. Продольный градиент напряжения в дуге возрастает.

Гашение дуги в масле. Этот способ применяется в высоковольтных выключателях переменного тока. При разрыве цепи вокруг контактов в масле образуется газовый пузырь (рис. 16), состоящий на **70%-80%** из водорода, который обладает хорошими охлаждающими свойствами. Быстрое перемещение холодных и горячих газов, а также высокое давление внутри пузыря приводят к интенсивному охлаждению дуги.

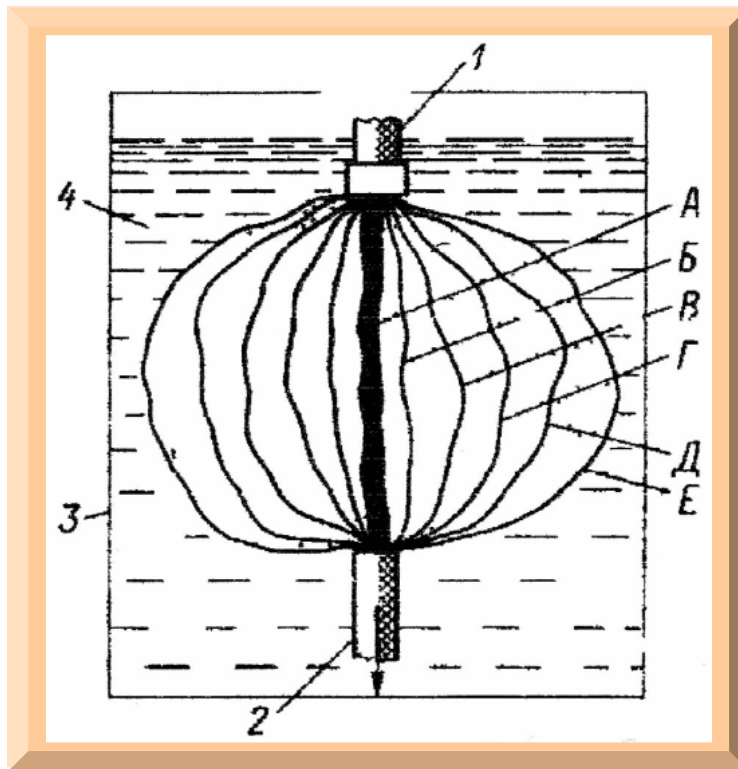


Рис. 16. Электрическая дуга в сфере газового пузыря в масле при простом однократном разрыве: 1 - неподвижный контакт; 2 - подвижный контакт; 3 - стенка; 4 - масло; А - ствол дуги; Б - водородная оболочка; В - зона распада; Г - зона газа; Д - зона пара; Е - зона испарения

По принципу действия дугогасительные устройства делятся на камеры с автодутьём (рис. 17), камеры с принудительным масляным дутьём и устройства с магнитным гашением дуги в масле.

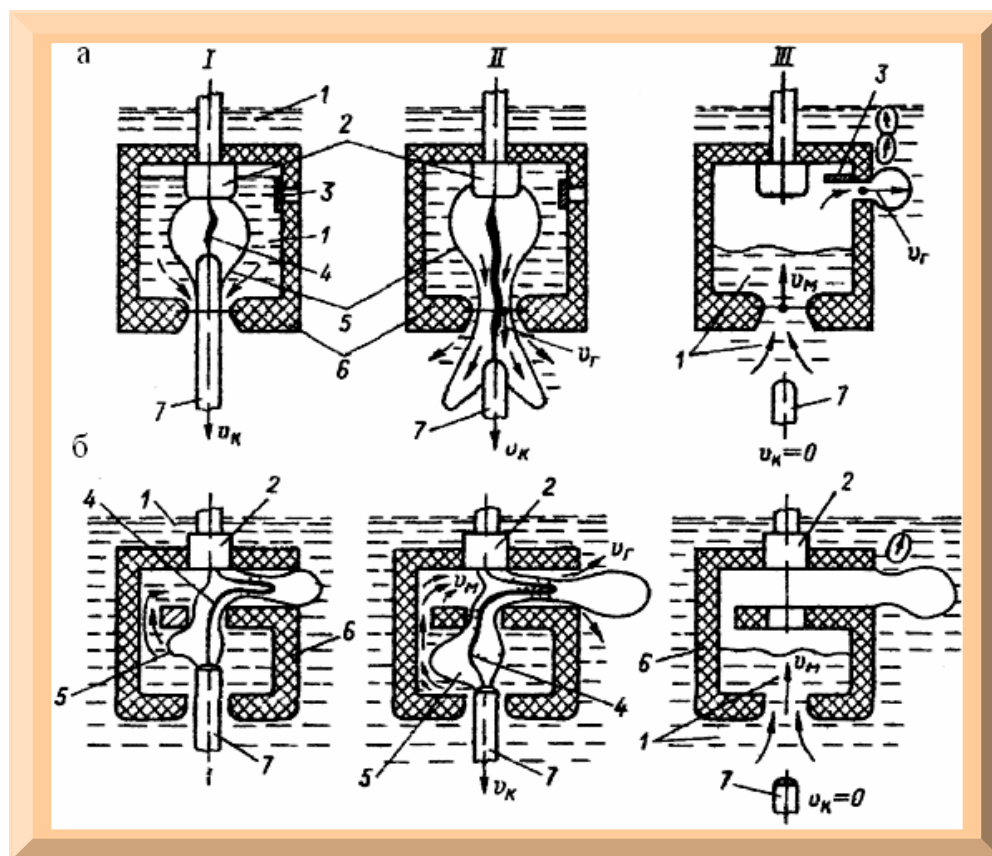


Рис. 17. Схемы процесса гашения электрической дуги в камерах с автодутьём: а - камера продольного дутья; б - камера поперечного дутья; 1 - масло; 2 - неподвижный контакт; 3 - клапан; 4 - дуга; 5 - газовый пузырь; 6 - камера; 7 - подвижный контакт

Гашение дуги воздушным дутьём. Этот способ применяется в высоковольтных выключателях переменного тока. Происходит интенсивное принудительное обдувание дуги потоком воздуха под давлением, который удаляет из зоны дуги нагретые ионизированные частицы, заменяя их охлаждёнными.

Воздушное дутьё может быть поперечным, продольным и продольно-поперечным.

Продольное дутьё нашло преимущественное распространение за счёт своей простоты и надёжности, малого износа камер (рис. 18). Эффективность этого способа гашения заключается в следующем. Сама камера находится в закрытом баке.

Давление в камере много выше давления в баке. Вытекая из камеры под давлением **1-4 МПа**, газовый поток направляется вдоль дуги.

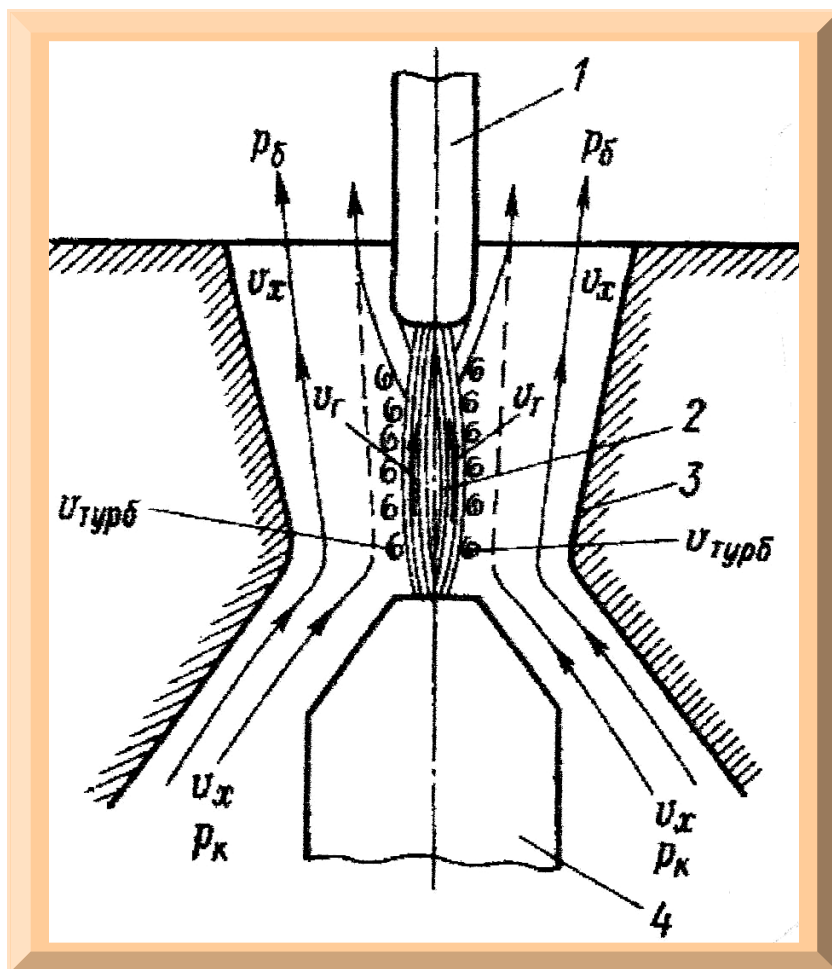


Рис. 18. Схема охлаждающего действия продольного дутья:

1 - неподвижный контакт; 2 - ствол дуги; 3 - стенки сопла; 4 - подвижный контакт; P_k - давление в камере; P_b - давление вне камеры (в баке)

В сопле, где этот поток тесно соприкасается с дугой и проникает в неё, образуются два потока: поток холодного воздуха с температурой примерно $0,3 \cdot 10^3 \text{ K}$ и скоростью истечения $U_x \approx 330 \text{ м/с}$ и поток горячего воздуха с температурой до $15 \cdot 10^3 \text{ K}$ и скоростью истечения $U_r \approx 2500 \text{ м/с}$. На границе этих потоков образуется интенсивное турбулентное движение, схематично изображённое на рисунке. Перемешивание потоков и обеспечивает чрезвычайно интенсивный отбор теплоты от ствола дуги.

Гашение дуги в элегазе. Элегаз (электрический газ) – шестифторная сера (SF_6) полученный впервые в России. Газ обладает хорошими дугогасительными свойствами. Молекулы газа способны захватывать электроны, что способствует деионизации.

Электрическая прочность элегаза при атмосферном давлении в **2.5 раза** больше, чем у воздуха, а при $P = 0,23 \text{ МПа}$ равна электрической прочности трансформаторного масла.

Удельная объёмная теплоёмкость в **4 раза** больше, чем у воздуха, поэтому охлаждающие свойства элегаза намного выше.

Элегаз не горюч до $t = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ и химически инертен, что позволяет повысить температуру контактов, не опасаясь их окисления.

Однако переход от газообразного состояния в жидкое у элегаза происходит при относительно низких температурах.

Под действием дуги газ разлагается с образованием токсичных, коррозионных веществ. Возникает необходимость снабжения аппаратов с элегазом дополнительными фильтрами, экранами.

Гашение дуги в вакууме. При расхождении контактов в вакууме происходит нагрев испарения жидкого металлического мостика из материала электродов. Дуга в вакууме образуется за счёт металлических паров. При прохождении тока через ноль такая дуга гаснет.

Гашение дуги в дугогасительной решётке. Для гашения используется околоэлектродное падение напряжения. Над контактами устанавливаются металлические пластины, изолированные друг от друга, образующие металлическую решётку (рис. 19). Пластины решетки делят дугу на ряд коротких дуг. При числе пластин m коротких дуг будет $m + 1$, столько же будет анодных напряжений U_a и катодных U_k падений напряжения.

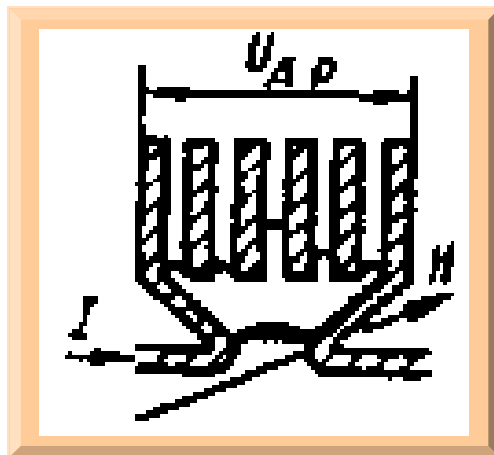


Рис. 19. Схема дугогасительной решетки

Напряжение на всей дуге в решётке составляет:

$$U_{\text{д.р.}} = U_{\text{э}}(m+1) + E_{\text{д}}l \quad (3-14)$$

где $U_{\text{э}} = U_{\text{а}} + U_{\text{к}}$ – сумма около электродных падений напряжения; $E_{\text{д}}$ – градиент напряжения в дуге.

3.3. БЕЗДУГОВАЯ КОММУТАЦИЯ

Коммутация цепей переменного тока. Схема с шунтирующими тиристорами (рис. 20) используется при коммутации цепей переменного тока.

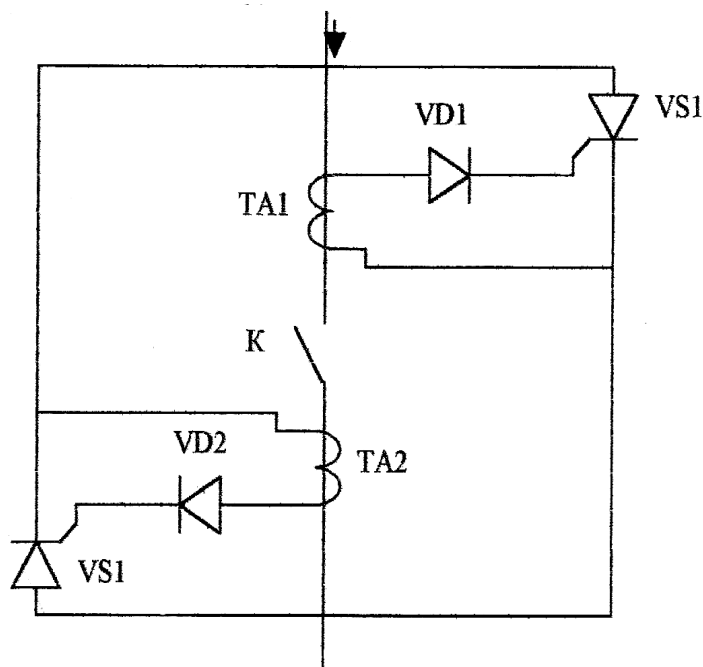


Рис. 20. Схема с шунтирующими тиристорами

Тиристоры **VS1** и **VS2** включены параллельно контакту. При разомкнутом контакте К они заперты, ток в цепи отсутствует. При замыкании контакта и возникновении тока в цепи трансформаторов тока **TA1** и **TA2** (или другое устройство) через диоды **VD1** и **VD2** подают соответственно полярности полуволны отпирающие сигналы на управляющие электроды тиристоров. Однако ток через тиристоры не протекает, так как они шунтированы контактом. В момент размыкания контакта ток переходит в цепь того из тиристоров, направление проводимости которого соответствует полярности тока. Прямое падение напряжения на открытом тиристоре мало (1,5-2 В на одном тиристоре), и дуга на контактах не возникает. При переходе тока через

нуль проводящий тиристор закроется, а второй не откроется ввиду отсутствия сигнала. Ток в цепи прекратится.

Коммутационная износостойкость контактов повышается в 10 раз. Скорость отключения 0,01с. Такая схема используется в контакторах серий **КТ-64, КТ-65**.

Коммутация цепей постоянного тока. Схема бездуговой коммутации на постоянном токе представлена на **рис. 21**.

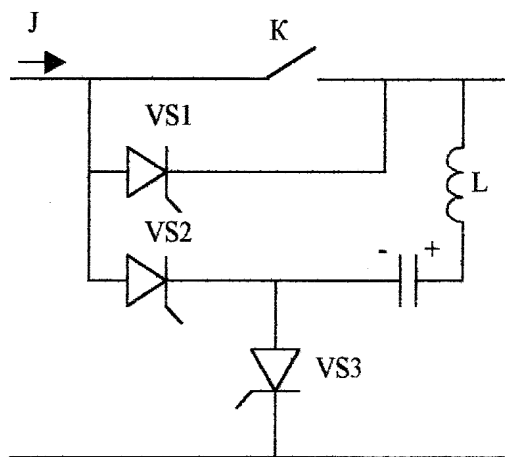


Рис. 21. Схема бездуговой коммутации на постоянном токе

В схеме на **рис. 21** процесс отключения цепи двухступенчатый: сначала открывается тиристор **VS1**, ток протекает через этот тиристор и контакт **К** размыкается без дуги. Затем открытием тиристора **VS2** осуществляется разряд конденсатора **С** и запираение тиристора **VS1**. Достигается полное бездуговое отключение тока. Тиристор **VS3** служит для заряда конденсатора.

Износостойкость контакторов в **5-10** раз выше, чем у обычных. Время отключения **0,01 с**.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие электродинамических сил при переменном однофазном токе и постоянном?
2. От чего зависит величина переходного сопротивления контакта?
3. Какие виды коммутирующих контактов вы знаете?
4. Чем отличаются герконы от герсиконов?
5. Каковы условия гашения электрической дуги постоянного и переменного тока?
6. Какое влияние оказывает высокое давление на гашение дуги?
7. Как гасится дуга в масле?
8. Каков принцип охлаждения электрической дуги при продольном дутье воздухом?
9. Каковы особенности элегаза как дугогасительной среды?
10. При каком токе использование дугогасительной решетки наиболее эффективно?
11. Каков принцип бездуговой коммутации цепей переменного тока?

РАЗДЕЛ 2. АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ГЛАВА 4. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

4.1. Общие сведения

Выключатели предназначены для отключения номинальных рабочих токов и токов короткого замыкания. К ним предъявляются следующие требования:

- Высокий номинальный ток включения.
- Высокий номинальный ток отключения.
- Электродинамическая стойкость выключателя.
- Высокая отключающая и включающая способность.

По способу гашения дуги и типу изоляции выключатели делятся:

- масляные;
- воздушные;
- элегазовые;
- вакуумные;
- электромагнитные и т.д.

По месту установки:

- наружной установки;
- внутренней установки.

По конструкции выключатели каждого типа в зависимости, от выполняемых функций (назначения) в схемах распределительных устройств подразделяются на *генераторные, сетевые* или *подстанционные*. Генераторные выключатели характеризуются большими значениями номинальных токов и большими токами отключения при меньших напряжениях. Сетевые – меньшими номинальными токами и более высокими напряжениями, подстанционные – наивысшими номинальными напряжениями, наиболее высокой отключающей способностью, быстродействием и наличием автоматического повторного включения (АПВ).

4.2. Выключатели масляные

Различают два вида масляных выключателей: баковые и маломасляные.

Баковые масляные выключатели. На **рис. 22** изображен полюс масляного бакового выключателя на напряжение **220 кВ**.

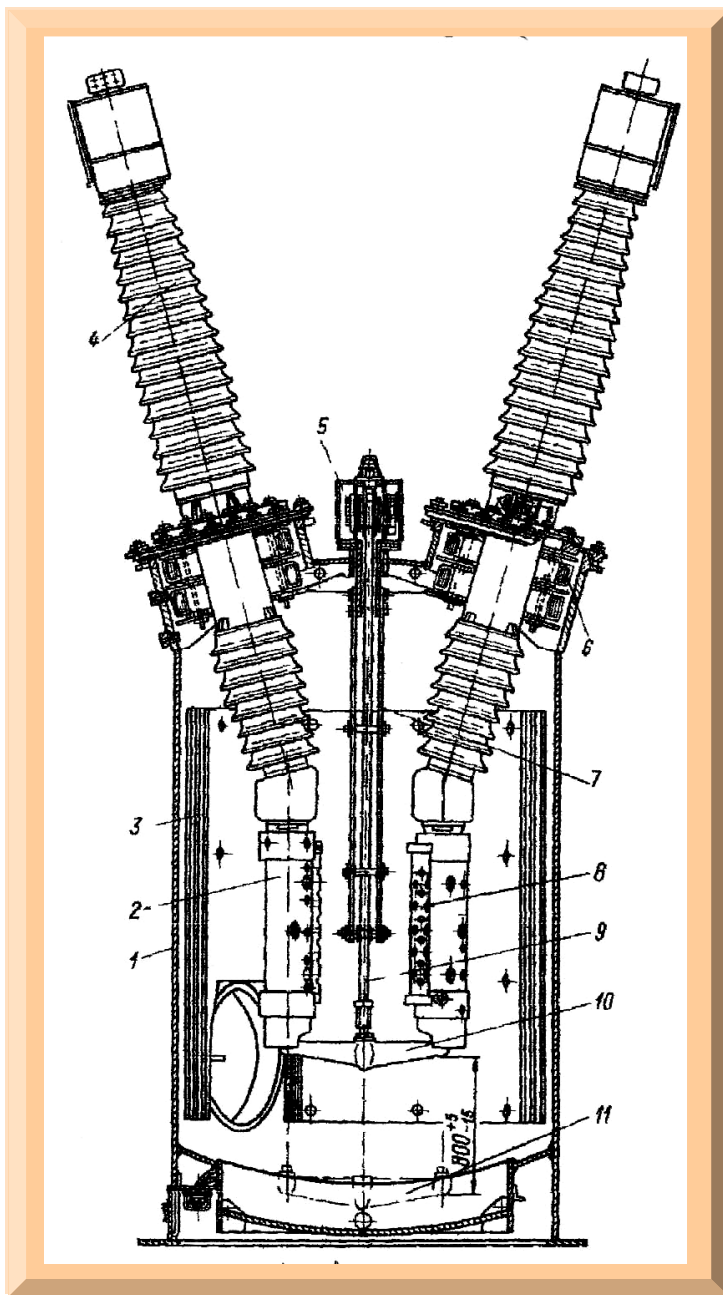


Рис. 22. Баковые масляные выключатели:

1 - бак, 2 - дугогасительная камера с неподвижными контактами и шунтирующим резистором, 3 - изоляция бака, 4 - ввод, 5 - приводной механизм, 6 - трансформатор тока, 7 - направляющие устройство, 8 - шунтирующий резистор, 9 - изоляционная тяга, 10 - траверса с подвижными контактами, 11 - положение траверсы после отключения.

Основой конструкции выключателя является бак цилиндрической или эллипсоидальной формы, внутри которого и на нём монтируется контактная и дугогасительные системы, вводы и привод. Бак заливается до определённого уровня трансформаторным маслом. Между поверхностью масла и крышкой бака должен остаться некоторый свободный объём (**обычно 20-30% объёма бака**) – воздушная буферная подушка, сообщающаяся с окружающим пространством через газоотводную трубку. Воздушная подушка снижает давление, передаваемое на стенки бака при отключении, исключая выброс масла из бака и предохраняет выключатель от взрыва при чрезмерном давлении. В выключателях на напряжение **35 кВ** все три фазы находятся в одном баке. В выключателях напряжением свыше **35 кВ** каждая фаза размещается в отдельном баке.

Выключатели снабжены системой автоматического повторного включения, так как они - взрывопожароопасные.

Маломасляные выключатели. Являются основными на напряжение до **10 кВ**. Имеют значительно меньшие габариты и массу, менее взрывопожароопасные, чем баковые. Гашение дуги осуществляется поперечным дутьём. В отличие от масляных баковых выключателей масло служит здесь только дугогасящей средой, а изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства относительно земли осуществляется с помощью твёрдых изоляционных материалов. На **рис. 23** приведён общий вид выключателя типа **ВМПЭ-10**.

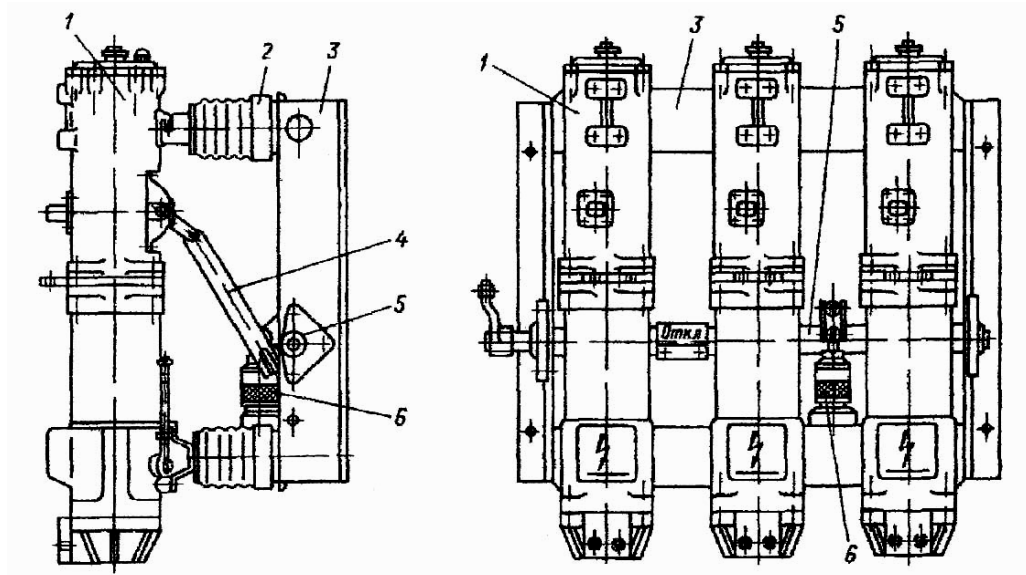


Рис. 23. Выключатель маломасляный на 10 кВ

Он смонтирован на сварной раме **3**. Внутри рамы расположен приводной механизм, который передаёт движение привода к подвижным контактам и состоит из приводного вала **5** с рычагами, изоляционной тяги **4**, отключающих пружин, масляного **6** и пружинного демпферов. К раме с помощью изоляторов **2** подвешены три полюса **1** выключателя.

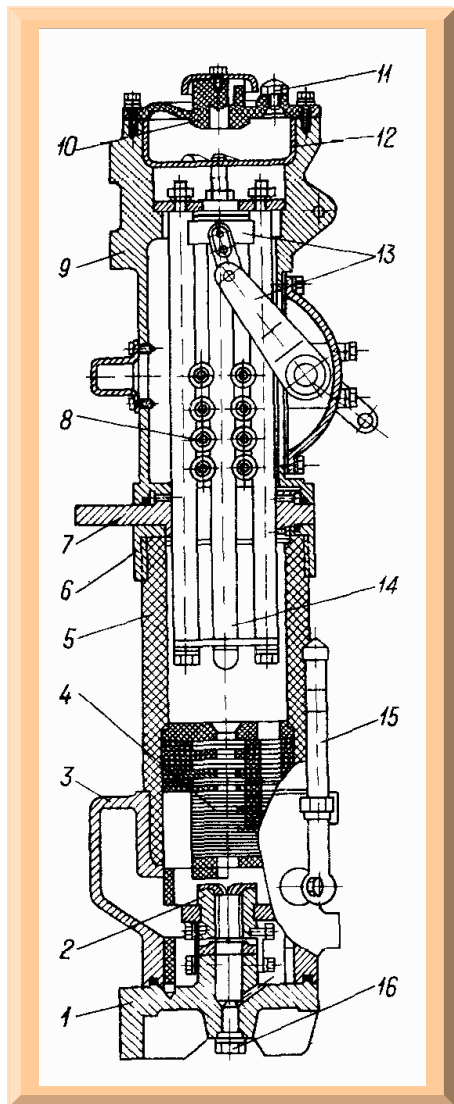


Рис. 24. Полюс выключателя

Каждый полюс (**рис. 24**) состоит из прочного влагостойкого изоляционного цилиндра **5**, армированного на концах металлическими фланцами **3** и **6**. На верхнем фланце укреплен корпус **9** из алюминиевого сплава. Внутри корпуса расположены приводной механизм **13** и подвижная контакт-деталь **14** с роликовым токосъёмным устройством **8** и маслоуловителем. Корпус закрывается крышкой **10**, имеющей отверстие для выхода газов и пробку **11** маслоналивного отверстия.

4.3. Выключатели воздушные

В воздушных выключателях дуга гасится потоком сжатого воздуха. Благодаря высокой эффективности такого способа охлаждения воздушные выключатели позволили перейти к более высоким классам напряжения, вытесняя масляные выключатели. Все выключатели состоят из трех основных частей: дугогасительного устройства с отделителем или без него, системы снабжения сжатым воздухом и системы управления.

Наиболее совершенны воздушные выключатели, у которых дугогасительная камера размещается непосредственно в баке с сжатым воздухом. На **рис. 25, а** показан полюс такого выключателя серии **ВВБ-110** на напряжение **110 кВ**. Бак со сжатым воздухом **1** располагается на опорном изоляторе **2**, в этом же изоляторе проходят управляющие воздухопроводы, воздух в которых находится под давлением **2,6 МПа**.

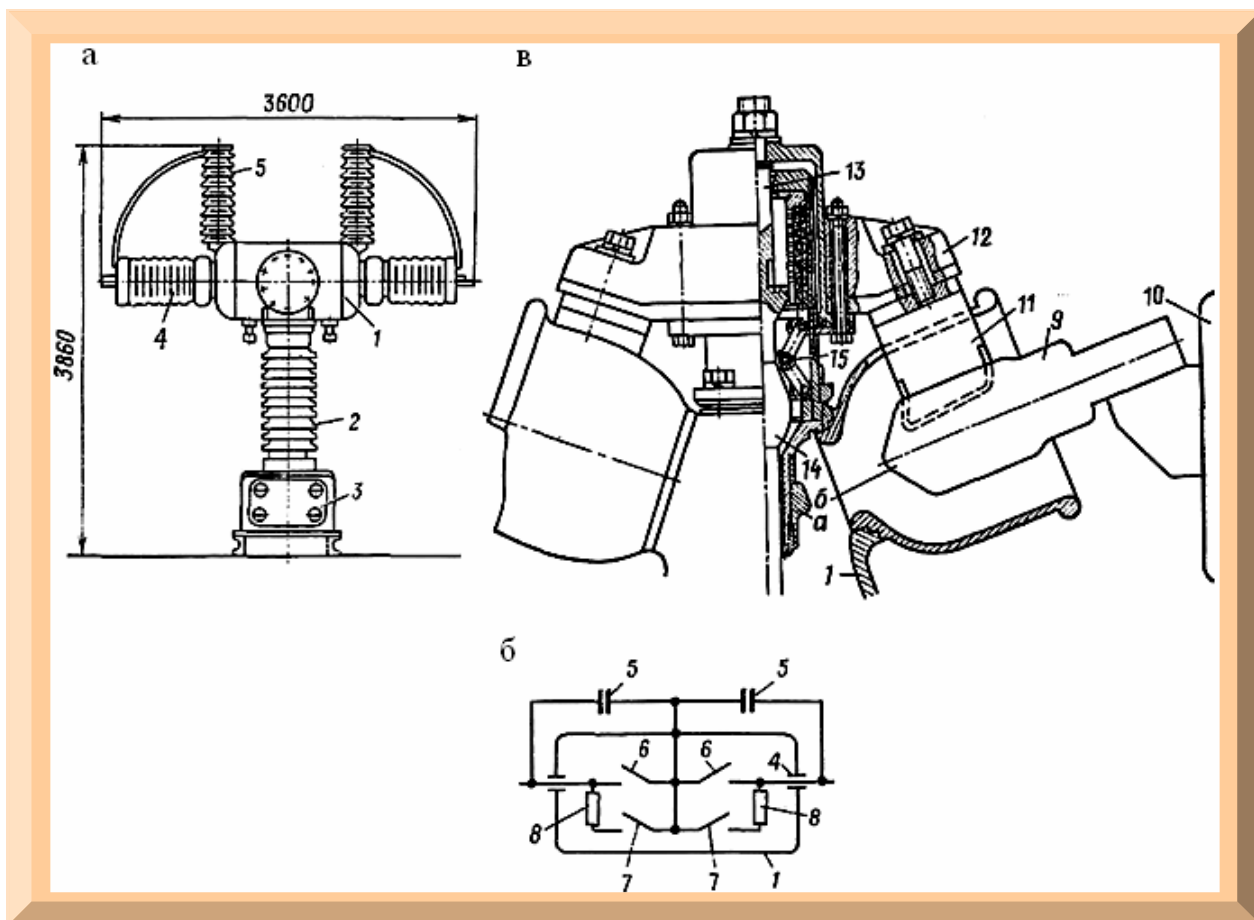


Рис. 25. Баковый воздушный выключатель серии ВВБ -110:
а - полюс выключателя; б - схема выключателя; в - устройство выключателя

Шкаф управления **3** расположен в основании выключателя. Дугогасительное устройство (**ДУ**) соединяется с внешней цепью токоведущими частями проходных изоляторов **4**. Схема устройства представлена на **рис. 25, б**, где **5** – шунтирующие конденсаторы, обеспечивающие равенство напряжений на двух разрывах устройства, **6** – основные контакты, **7** – вспомогательные, **8** – шунтирующие резисторы, служащие для снижения скорости восстановления напряжения. Ток через шунтирующие резисторы отключается контактами **7** после гашения дуги в основных разрывах **6**. Из рисунка видно, что корпус бака **1** находится под напряжением. В дугогасительном устройстве (**рис. 25, в**) неподвижный контакт **9** укреплен на конце токоведущего стержня изолятора **10**. Подвижный контакт **11** укреплен на траверсе **12**, связанной с приводным штоком **13**. Выступ **14** на штоке **13** служит для фиксации механизма дугогасительного устройства во включенном положении с помощью защелок **15**.

Во включенном положении полость бака отделена от атмосферы с помощью клапана, закрывающего выхлоп **1**. При отключении в привод подается сжатый воздух, под воздействием которого шток **13** перемещается вверх и открывает клапан выхлопа **1**, отделяющий полость бака от атмосферы. Дуга загоревшаяся между контактами **11** и **9** потоком выходящего в атмосферу воздуха сдувается на точки **а** и **б**, где подвергается интенсивному продольному дутью сжатым воздухом. После отключения клапан закрывается, и бак разобщается с атмосферой.

Принципиальной особенностью **ВВП-35 (рис. 26)** является наличие отделителя **1**, включенного последовательно с дугогасительным устройством **3**. Включение выключателя производится замыканием контактов отделителя **1** и **2**.

Сжатый воздух находится в стальном баке **4**. На стеклоэпоксидной трубе **5** расположено дугогасительное устройство **3**. Цепь высокого напряжения присоединяется к выводам **9** и **7**. Последовательно с дугогасительным устройством включены контакты **1**, **2**. Неподвижный контакт отделителя **2** укреплен на стеклопластиковом цилиндре **8**. Привод ножа отделителя осуществляется через изоляционную штангу **6**. Для ограничения перенапряжений, возникающих при отключении ненагруженных трансформаторов, дуговой промежуток шунтирован нелинейным резистором **16**.

При отключении электромагнит воздействует на пусковой клапан **18** и сообщает с атмосферой полость справа от поршня **10**. Под действием сжатого воздуха поршень **10** перемещается вправо вниз и открывает главный клапан **11**. Сжатый воздух из бака **4** поступает по трубе в дугогасительное устройство **ДУ**. В **ДУ (рис. 26, б)** под действием сжатого воздуха поршень **12** вместе с подвижным трубчатым Конта

том **13** поднимается вверх. Предельная длина дуги ограничивается электродом **15**. Длительность горения дуги составляет **0,5 - 1,5** полупериода.

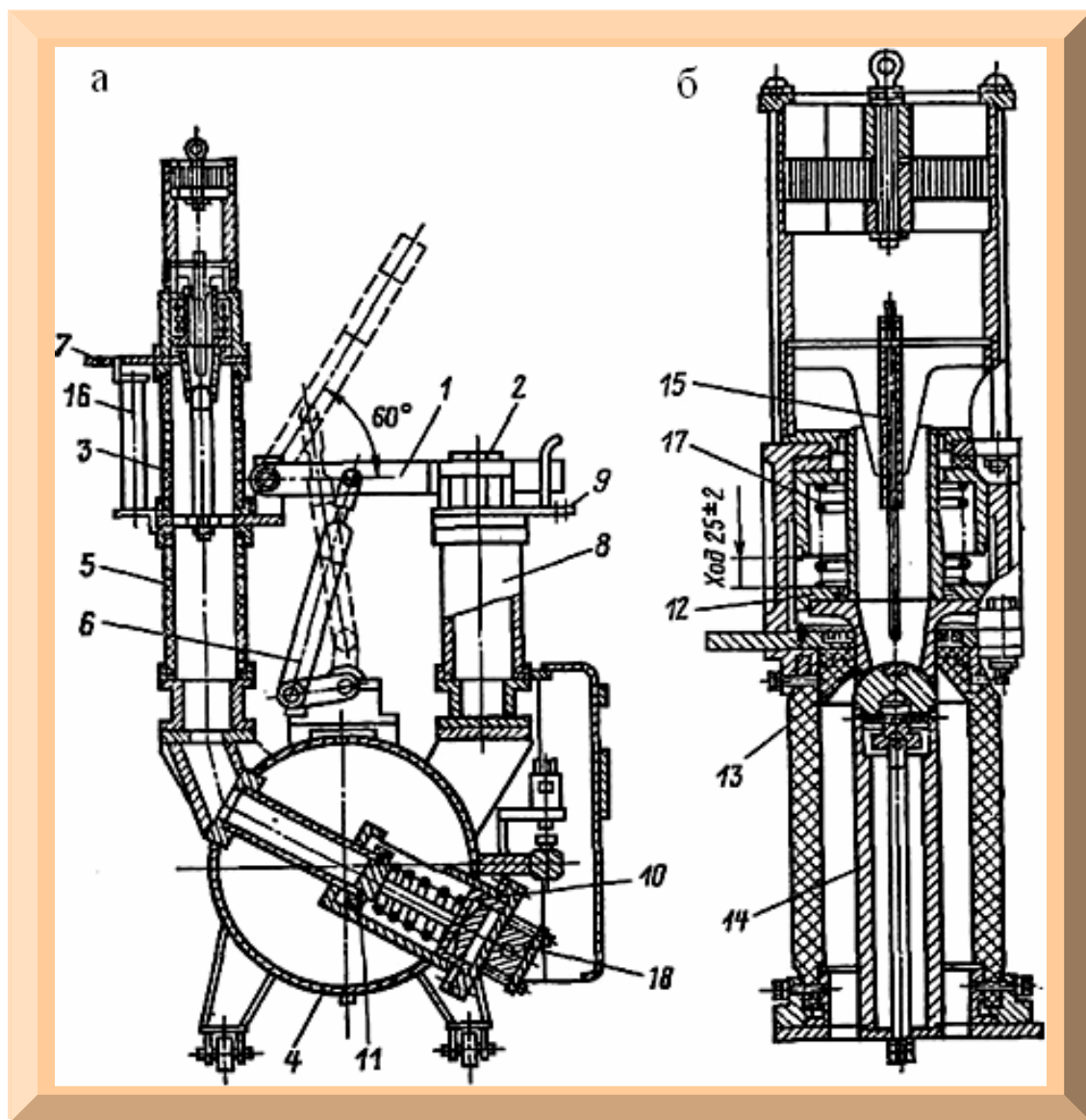


Рис. 26. Выключатель ВВП-35: а - общий вид выключателя типа ВВП-35;

б - дугогасительное устройство

Во время работы **ДУ** сжатый воздух подается в привод отделителя. После погасания дуги привод переводит нож отделителя **1** в положение, обозначенное пунктиром. После отключения клапан **11** закрывается и под действием пружины **17** контакты **ДУ** замыкаются. Для включения выключателя изменяется направление потока сжатого воздуха, поступающего в привод отделителя, благодаря чему нож **1** и контакт **2** замыкаются.

4.4. Выключатели вакуумные

Общий вид вакуумного выключателя представлен на **рис. 27**. Дугогасительные камеры **1**, залитые в эпоксидный компаунд, имеют выходные контакты **2** в виде розеток. Дугогасительные устройства укреплены на тележке **3**, в которой расположены механизм и привод выключателя. Дугогасительная камера расположена непосредственно в баке со сжатым воздухом.

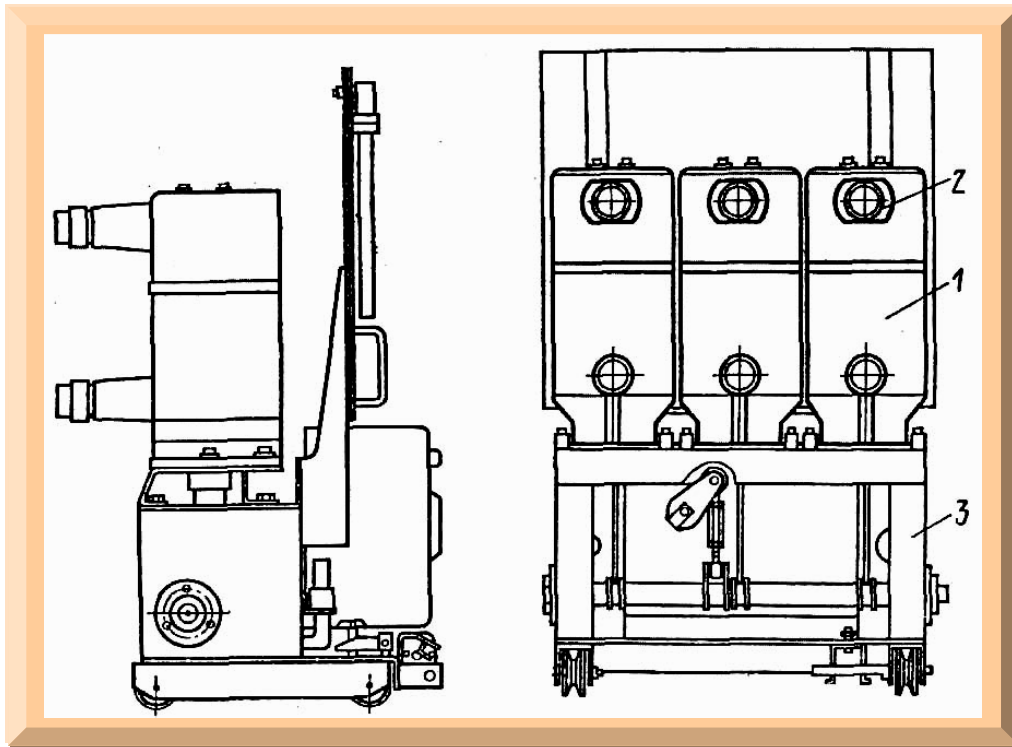


Рис. 27. Вакуумный выключатель

В вакуумной дугогасительной камере (**рис. 28**) контактный стержень **4** с контактным наконечником **1-2** жестко укреплен на металлическом фланце **6** керамического корпуса **10**. Контактный стержень подвижного контакта **5** связан с сильфоном **7**, выполненным из нержавеющей стали. Сильфон представляет собой цилиндрическую эластичную гармошку. Поэтому стержень **5** имеет возможность осевого перемещения. Внутренняя полость сильфона связана с атмосферой, поэтому контакт **3** верхнего контакта нажимает на контакт **3** нижнего контакта. Металлические экраны **8** и **9** служат для выравнивания электрического поля между контактами с целью повышения электрической прочности. Экран **8** защищает также керамику **10** от напыления паров металла, образующихся при гашении дуги. При отсутствии экранов

электрон, разгоняясь в электрическом поле по длинному пути, приобретает высокую энергию и при столкновении с молекулой может вызвать ее ионизацию.

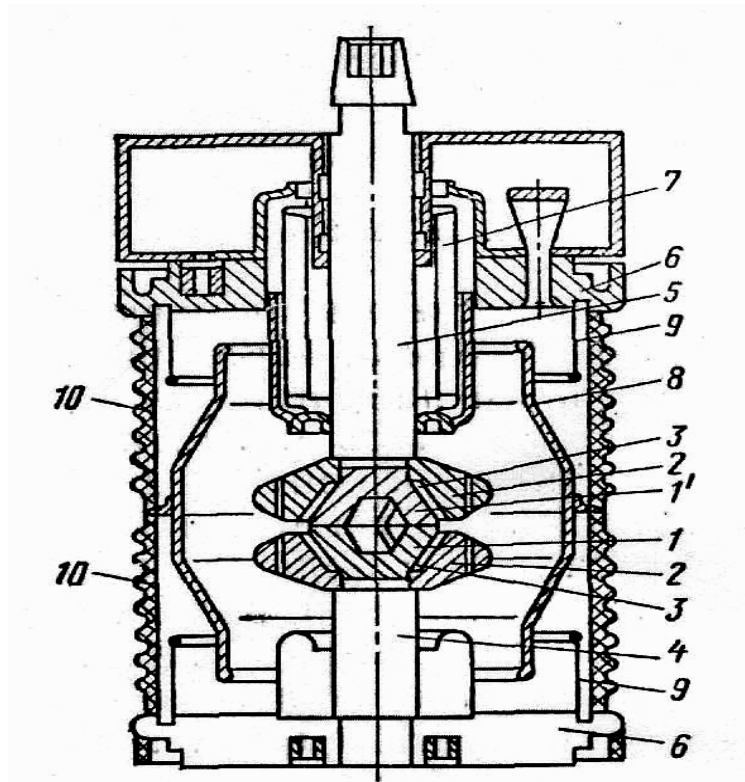


Рис. 28. Вакуумная дугогасительная камера

Благодаря экранам 8 и 9 электрическое поле разбито на два небольших участка (между электродами 9 и 8 и между электродами 8 и 9). Возможность перекрытия внутри камеры резко снижается. Касание контактов 1 происходит в шести точках, что позволяет снизить переходное сопротивление и уменьшить температуру контактов. Тепло, выделяемое на контактах 1 и 1' и контактных стержнях 4, 5, отводится в основном теплопроводностью к нижнему фланцу 6 и шинам, соединяемым с контактом 5.

Поперечное магнитное поле в месте перехода тока из контакта 1 в контакт 1' быстро перебрасывает дугу на криволинейные сегменты.

Перемещение дуги по контактам с большой скоростью позволяет уменьшить эрозию контактов и снизить количество паров металла в вакуумной дуге.

4.5. Выключатели элегазовые

Схема полюса элегазового выключателя на 220 кВ приведена на [рис. 29](#). Неподвижный контакт выключателя **1** прикреплен к баку выключателя на литом изоляторе **2**. Выключатель имеет два дугогасительных устройства **3** и **4**, соединенных последовательно через корпус **11**. Равномерное распределение напряжения по дугогасительному устройству обеспечивается керамическими конденсаторами **6**.

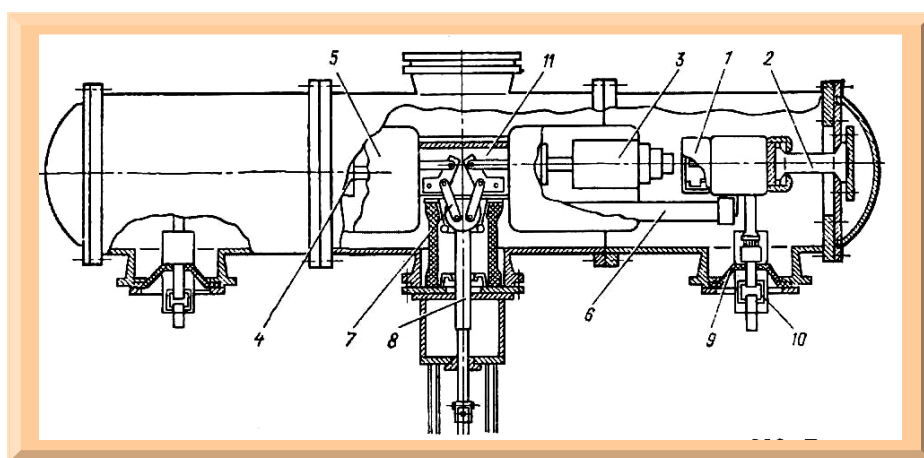


Рис. 29. Устройство элегазового выключателя на напряжение 220 кВ

Для устранения коронирования **ДУ** закрыты экранами **5**. Цилиндры **3** и **4** приводятся в движение изоляционной штангой **8** через рычажный механизм **7**. Выключатель заполнен элегазом при давлении **0,55 МПа**. Неподвижные контакты выключателя **1** выведены из бака через проходной герметизированный изолятор **9** и **10**. Здесь **9** – изоляционная перегородка, **10** – разъемный контакт розеточного типа. Такой изолятор позволяет сохранить в выключателе элегаз при отсоединении его от **КРУЭ**.

4.6. Выключатели электромагнитные

Три полюса выключателя ([рис. 30, а](#)) смонтированы на выкатной тележке **1**. При перемещении тележки влево пальцевый контакт **2** соединяется с медной шиной **КРУ**. Подвижный контакт **3** выключателя имеет вращательное движение относительно точки **О** и приводится в действие изоляционной штангой **4**, соединенной с механизмом выключателя.

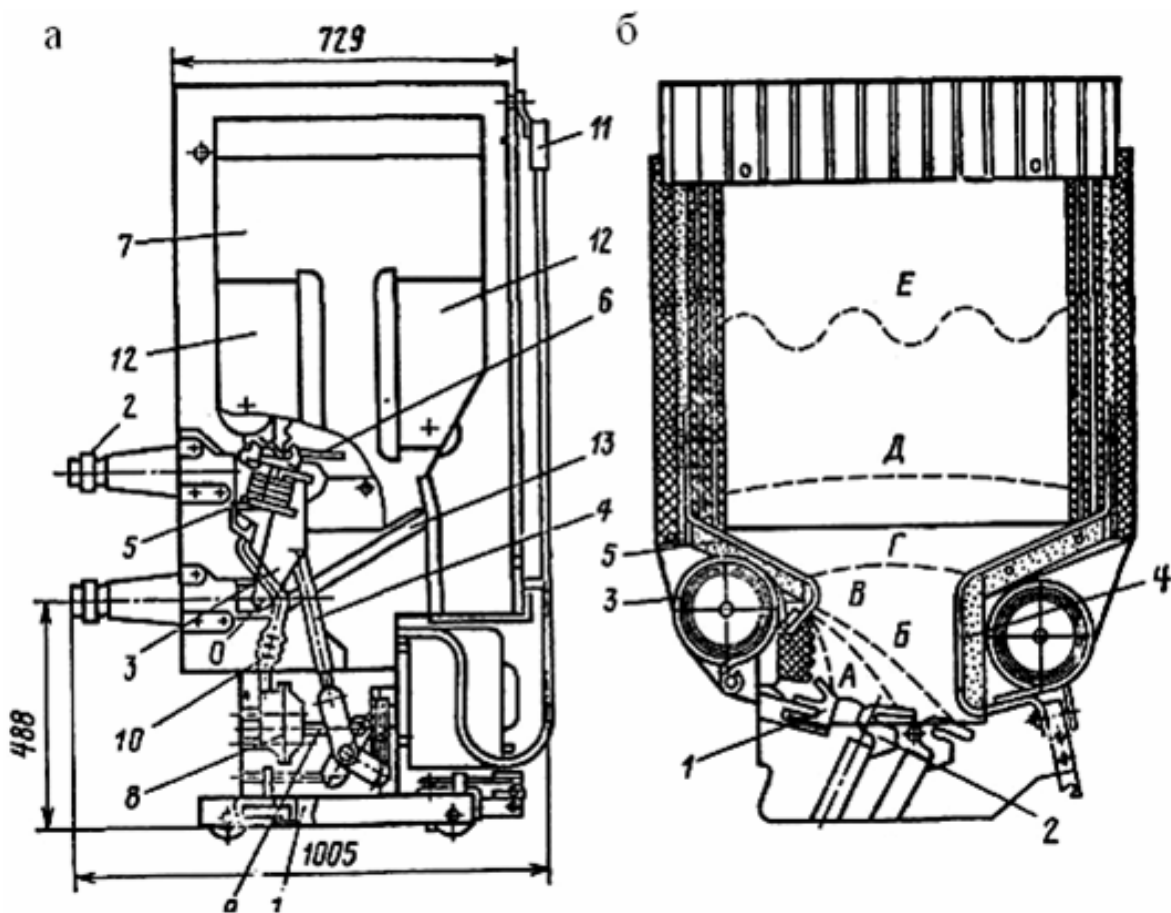


Рис. 30. Электромагнитный выключатель: *а* - общий вид выключателя;
б - дугогасительное устройство

Разрывной контакт полюса имеет главные пальцевые контакты **5** и дугогасительные **6**, расположенные над главными. Дугогасительное устройство выключателя расположено над контактной системой. Для улучшения гашения малых токов выключатель имеет устройство воздушного дутья **8**, которое приводится в действие тягой **9**, соединенной с механизмом привода выключателя. При отключении выключателя в дутьевом устройстве создается сжатый воздух, который протекает по трубке **10** и воздействует на дугу, перемещая ее вверх и включая катушки магнитного дутья. Присоединение цепей привода и сигнализации к схеме управления КРУ производится с помощью штепсельного контактного разъема **11**. Правая катушка магнитного дутья **12** соединяется с нижним выводом выключателя шиной **13**. Дугогасительное устройство изображено на рис. 30, *б*. При размыкании дугогасительных контактов **1** и **2** возникает дуга **А**, которая под действием электродинамических сил и конвекционных потоков воздуха перемещается в положение **Б**. Этому также способствует воздушное дутьевое устройство. Один конец дутьевой катушки **3** соединен с непод

вижным контактом **1**, второй – с левым рогом **5**. При перемещении дуги вверх, она касается рога **5**, при этом участок дуги между контактом **1** и нижним концом рога **5** шунтируется дутьевой катушкой.

Так как полное сопротивление катушки мало, то этот участок дуги гаснет и катушка **1** включается в коммутируемую цепь последовательно. Магнитный поток, создаваемый катушкой **3**, проходит по полюсным наконечникам (поз. **12** на рис. **30, а**) с помощью которых магнитное поле направляется перпендикулярно плоскости (рис. **30, б**). Силы взаимодействия тока дуги и поля перемещают дугу вверх и затягивают ее в **ДУ**, состоящее из пакета керамических пластин с вырезами. При перемещении дуги в положение **Г** правый конец дуги переходит на дугогасительный рог **4** и включается вторая система магнитного дутья. В результате дуга движется с большой скоростью. По мере перемещения дуга деформируется, принимая зигзагообразную форму **Е** (в горизонтальной плоскости), удлиняется и тесно соприкасается с пластинами дугогасительного устройства.

ГЛАВА 5. РАЗЪЕДИНИТЕЛИ, ОТДЕЛИТЕЛИ И КОРТКОЗАМЫКАТЕЛИ, ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАГРУЗКИ

5.1. Разъединители

Разъединители (рис. 31) – аппараты, предназначенные для включения и отключения участков электрических цепей под напряжением при отсутствии нагрузочного тока.

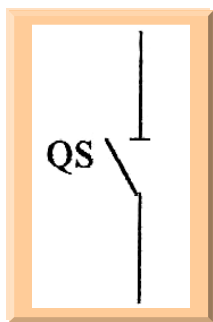


Рис. 31. Обозначение разъединителей в схемах

Разъединители нужны для видимого разрыва цепи. Они не имеют дугогасительных устройств. Состоят из подвижного контакта в виде ножа и неподвижного контакта.

Разъединителями управляют с помощью следующих приводов: ручных, рычажных, электродвигательных, пневматических, гидравлических.

По характеру движения подвижного ножа разъединители подразделяются:

- вертикально-поворотного (врубного) и горизонтально поворотного типов с вращением ножа в плоскости, параллельной или перпендикулярной осям поддерживающих изоляторов данного полюса соответственно;
- качающегося типа с вращением ножа совместно с поддерживающим его изолятором в плоскости, параллельной осям поддерживающих изоляторов данного полюса;
- с прямолинейным движением вдоль размыкаемого промежутка либо только ножа, либо ножа совместно с изолятором (катящегося типа);

- со складывающимся ножом, со сложным движением (поворот и складывание) ножа;
- подвесного типа с перемещением ножа вместе с поддерживающими изоляторами в плоскости, параллельной осям неподвижных подвесных изоляторов.

По исполнению разъединители производятся внутренней и наружной установки.

Разъединитель внутренней установки представлен на **рис. 32**

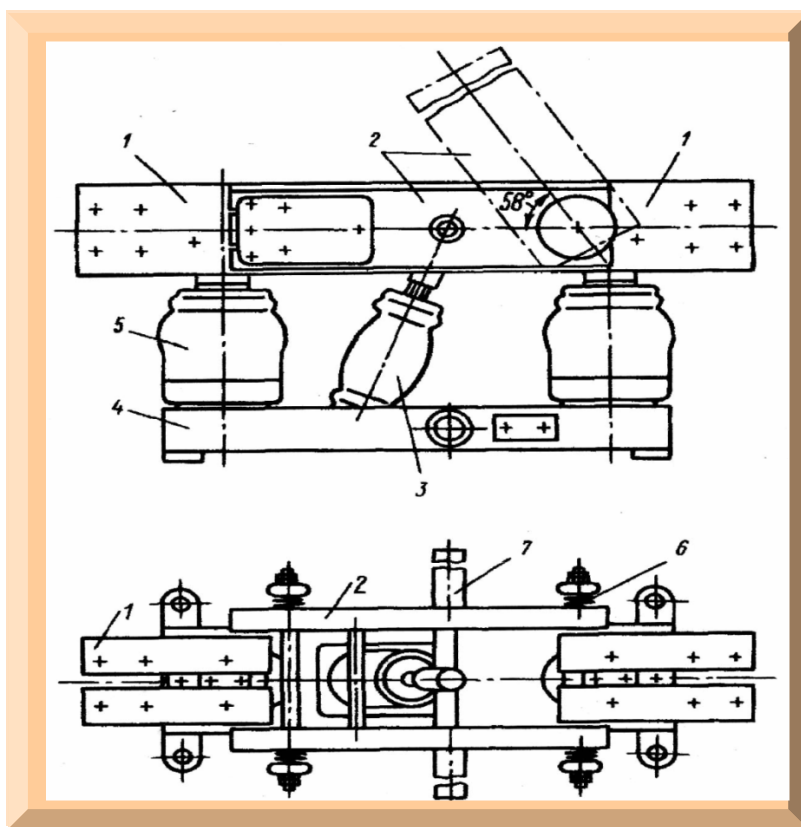


Рис. 32. Разъединитель внутренней установки:

1 - неподвижные контакты, 2 - подвижный контакт, 3 - тяговый изолятор, 4 - рама,
5 - опорные изоляторы, 6 - пружины, 7 - приводной вал.

5.2. Отделители и короткозамыкатели

Отделитель (**рис. 33, а**) предназначен для автоматического отключения поврежденного участка электрической цепи в момент отсутствия в ней тока, т. е. в период бестоковой паузы цикла автоматического повторного включения АПВ выключателя на питающем конце линии.

Короткозамыкатель (рис. 33, б) предназначен для создания искусственного короткого замыкания, с целью вызвать отключение выключателя, установленного на питающем конце линии.

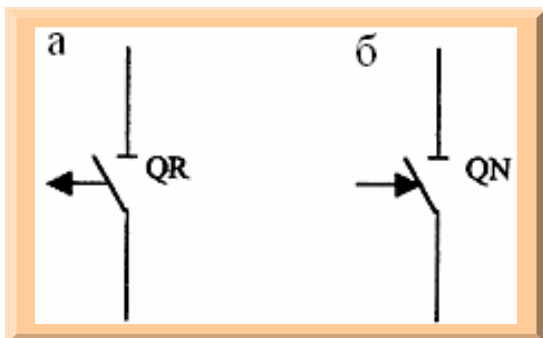


Рис. 33. Обозначение в схемах: а - отделитель; б - короткозамыкатель

На подстанциях глубокого ввода на стороне высокого напряжения схема коммутации выполняется упрощенной. При этом выключатель **В2** (рис. 34, а) заменяется отделителем **О** и короткозамыкателем **КЗ**, что позволяет упростить и удешевить электроустановку, не ухудшая ее надежности.

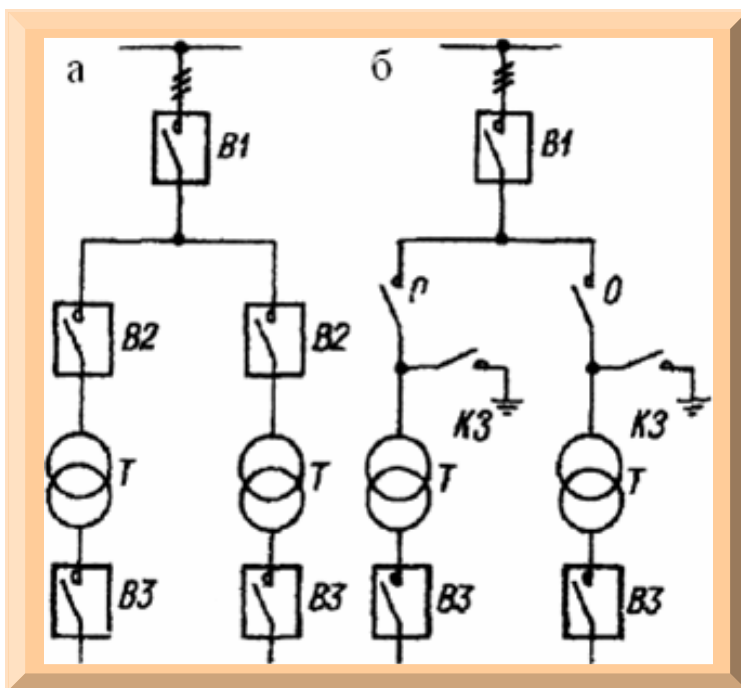


Рис. 34. Схема замещения выключателя:

а - исходная схема на высоковольтных выключателях; б - схема на отделителях и короткозамыкателях

По схеме на **рис. 34, а** трансформатор **Т** при повреждении отключается выключателем **В2**. По схеме на **рис.34, б** от сигнала защиты замыкается короткозамыкатель **КЗ**, создавая короткое замыкание на землю, что приводит к срабатыванию

выключателя **В1** в начале линии. За время бестоковой паузы цикла автоматического повторного включения (**АПВ**) размыкается отделитель **О**, отключая поврежденный трансформатор. Выключатель **В1** автоматически вновь включается, восстанавливая питание на остальных трансформаторах. По конструкции отделители и короткозамыкатели есть разъединители с быстродействующими приводами, управляемыми от системы защиты.

Короткозамыкатель (**рис. 35**) состоит из основания **3**, на котором установлен соответствующий напряжению изолятор **2** с верхним неподвижным контактом **1** (закрит кожухом), снабженным выводом для присоединения к линии электропередачи.

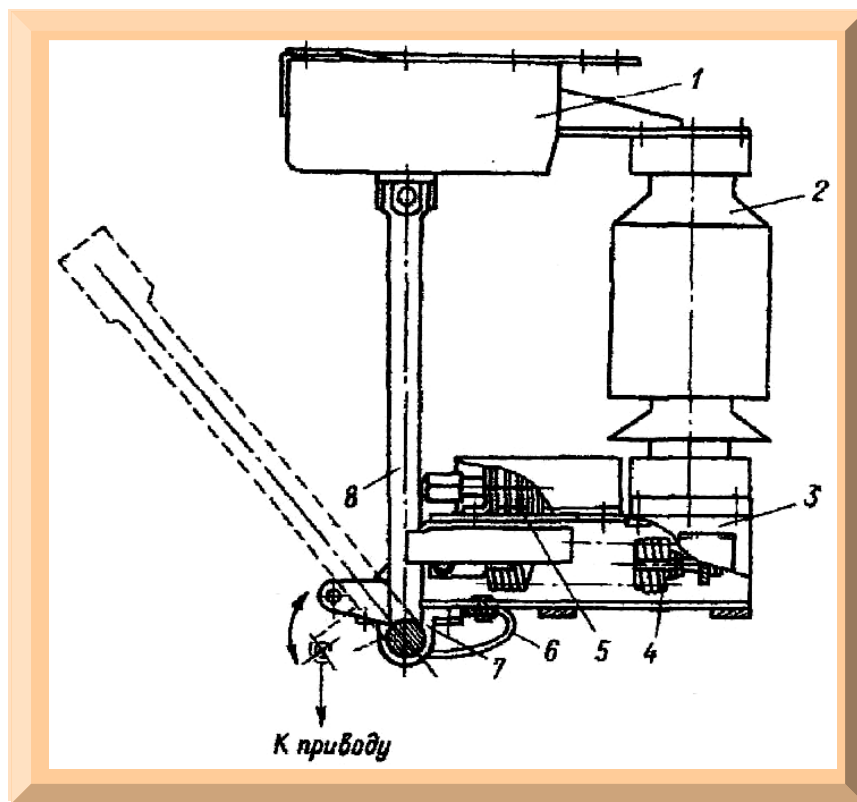


Рис. 35. Общий вид короткозамыкателя

Основание **3** заземлено и при помощи гибкой связи **6** соединено с подвижным контактом (ножом) **8**. Подвижный контакт вращается на оси **7** и связан с приводом и замыкающей пружиной **4**. Привод размыкает контакты (отводит нож) и ставит нож под защелку, взводя при этом пружину. По сигналу от защиты защелка освобождает нож, и под действием пружины контакты замыкаются, таким образом, достигается

фиксированное быстрое действие. Буфер 5 служит для амортизации удара в контактах при включении.

5.3. Выключатели нагрузки

Выключатели нагрузки предназначены для управления высоковольтными синхронными и асинхронными двигателями большой мощности, а также другими нагрузками с малой индуктивностью. Они должны обеспечивать надежную коммутацию токов рабочих режимов (пуск, реверс, торможение, остановка и т. п.) с большой частотой (**300 – 600 вкл/ч**). Соответственно этому они должны иметь сравнительно с выключателями большую механическую и коммутационную износостойкость. Защита цепей осуществляется соответствующими выключателями или предохранителями.

В настоящее время все шире применяются для указанных целей вакуумные и электромагнитные контакторы вместо ранее применявшихся автогазовых выключателей, которые не удовлетворяют современным требованиям.

Контактор вакуумный КВТ-6/10-400-4. Его данные: $U_{ном} = 6 \text{ и } 10 \text{ кВ}$; $I_{ном} = 400 \text{ А}$; $I_{откл} = 4 \text{ кА (50 отключений)}$; $I_{вкл} = 15 \text{ кА}$; $I_{терм} = 4 \text{ кА (4 с)}$; износостойкость механическая $1 \cdot 10^6$ циклов, коммутационная $1 \cdot 10^5$ циклов; частота включений 300 вкл./ч.

Общий вид контактора приведен на **рис. 36**. Контактор состоит из трех полюсов высокого напряжения, корпусов 2 и 3 электромагнитного привода 4, цепей управления 5. Дугогасительные камеры 1 крепятся к верхней опорной части защитного изоляционного корпуса 2. Все другие узлы монтируются на корпусе 3. Нижний вывод 10 и подвижный контакт камеры соединены гибкой связью 9. Для дополнительного поджатия подвижного контакта камеры установлена пружина 8. Привод и отключающая пружина 6 воздействуют на подвижный контакт через траверсу 7. Питание электропривода может осуществляться как переменным, так и постоянным током.

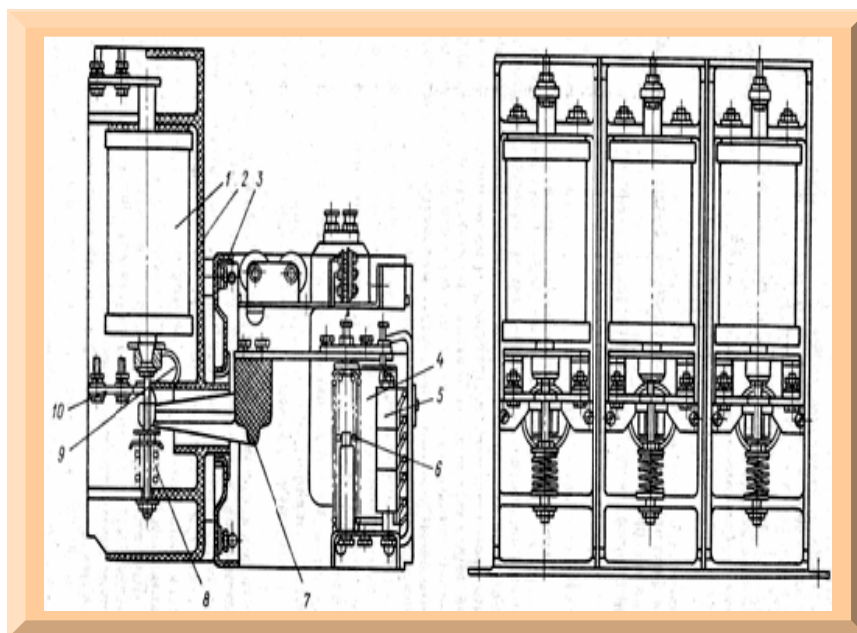


Рис. 36. Контактор вакуумный на напряжение 10 кВ

Контактор электромагнитный типа К2-6 представлен на рис. 37.

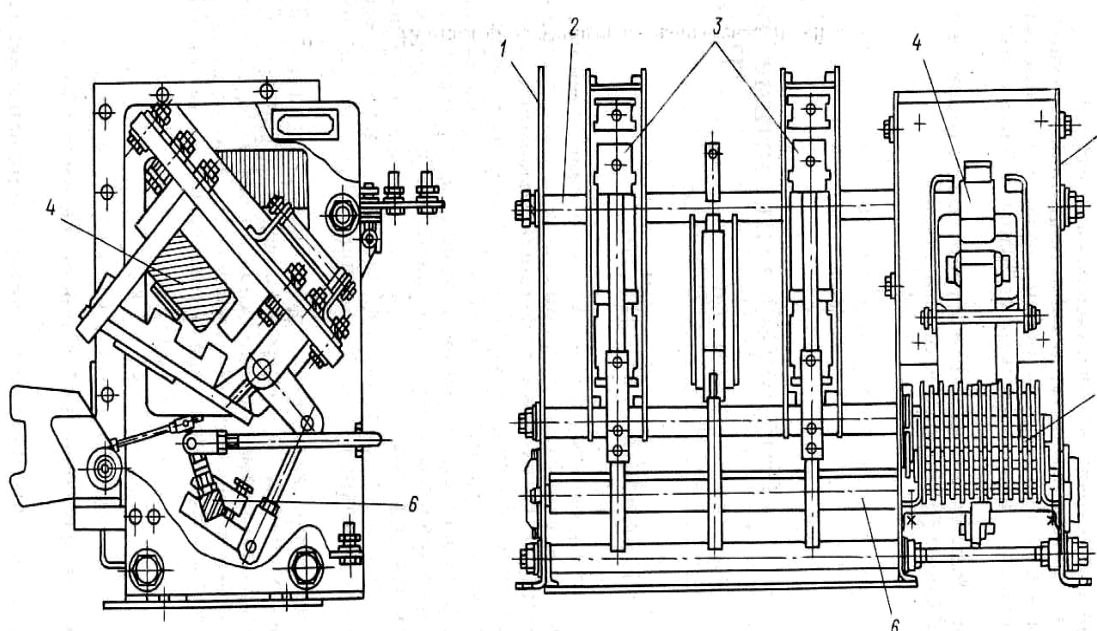


Рис. 37. Контактор электромагнитный на напряжение 6 кВ

Контактор выполняется на $U_{\text{ном}} = 6$ кВ, частоту 50 и 60 Гц; $I_{\text{ном}} = 40 \dots 400$ А (пять величин); $I_{\text{откл}} = 1,5 \dots 4,2$ кА; $I_{\text{вкл}} = 4 \dots 8$ кА; $I_{\text{терм}} = 2 \dots 4,2$ кА (4 с);

имеет износостойкость механическую $1 \cdot 10^6$ циклов, коммутационную $1 \cdot 10^5$ циклов; частоту включений **300 вкл./ч.**

Контактор (рис. 37) состоит из трех полюсов **3** (на рисунке камера среднего полюса снята), установленных на четырех изоляционных рейках **2**. Рейки стягивают стальные щеки **1**, между которыми расположены полюсы, электромагнитный привод **4** и контакты вспомогательной цепи **5**.

Каждый полюс контактора состоит из системы неподвижного контакта, которая содержит катушку магнитного дутья с сердечником и магнитопроводами и саму неподвижную контакт-деталь. Системы подвижного контакта, установленной на подвижном изоляционном валу **6** и связанной с выводом полюса гибкой связью; камеры дугогашения, состоящей из набора керамических плиток и керамических щек, заключенных в каркас из пластмассовых деталей. Электромагнитный привод включает в себя сердечник, катушку и якорь, который поворачивается в подшипниках на оси и связан системой рычагов с поворотным валом **6**. Вспомогательные контакты собраны в блок и имеют привод от того же вала.

ГЛАВА 6. ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ РЕАКТОРЫ, РАЗРЯДНИКИ

6.1. Реакторы

Реакторы служат для ограничения электродинамического воздействия тока короткого замыкания. Представляют собой катушку из многожильного изолированного кабеля, намотанного на изоляционный каркас.

Реакторы бывают фидерными и секционными. На напряжение до **35 кВ** и для внутренней установки почти исключительное распространение получили бетонные реакторы.

Бетонный реактор (рис. 38, а) выполняется в виде концентрически расположенных витков **1** из специального круглого изолированного многожильного провода, залитых в радиально расположенные бетонные колонки **2**. Благодаря своей эластичности провод демпфирует термические и динамические усилия и тем самым снимает усилия с бетона. Число колонок реактора определяется диаметром катушки. Каждая колонка реактора устанавливается на опорные изоляторы **3**, которые обеспечивают изоляцию от земли и между фазами. Все металлические детали реактора выполняются из немагнитных материалов. Фазы могут быть расположены вертикально (рис. 38, б), горизонтально или ступенчато.

На напряжения выше **35 кВ** и для наружной установки используются масляные реакторы. Обмотка выполненная из медных проводников, изолированных кабельной бумагой, укладывается на изоляционные цилиндры и размещаются в баке (баках), заливаемых маслом. Концы обмотки каждой фазы выводятся через проходные изоляторы наружу. Масло служит и как изолирующая, и как охлаждающая среда.

Переменное поле катушек реактора, замыкающееся через стенки бака, может привести к чрезмерному нагреву этих стенок. Для снижения нагрева стенок (и масла) необходимо ограничить замыкающийся через них магнитный поток. Для этого служат электромагнитные экраны или магнитные шунты.

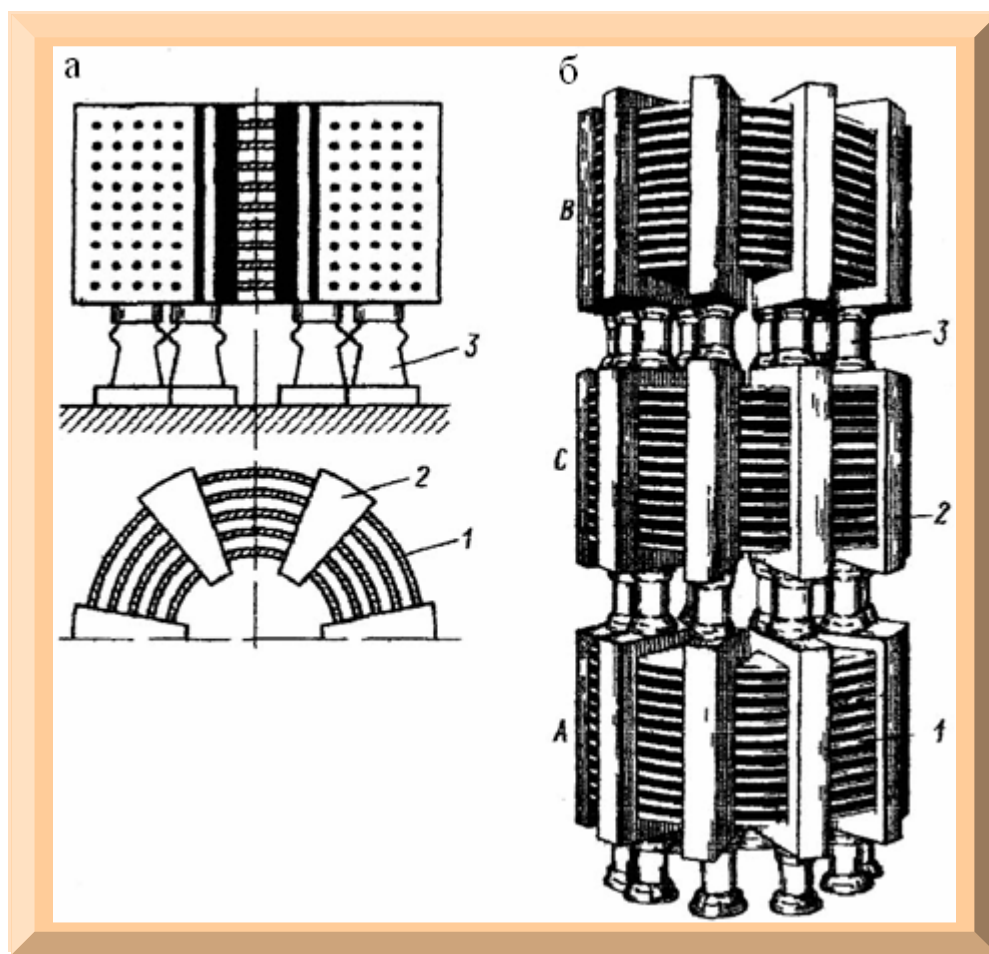


Рис. 38. Трехфазный реактор: а - общий вид фазы бетонного реактоа; б - трехфазный комплект реактора

6.2. Разрядники

Разрядники предназначены для снятия перенапряжения с изоляции электрооборудования. Представляют собой электроды с искровыми промежутками и обладают способностью гасить дугу в этих промежутках. Важнейшим параметром разрядника является вольт-секундная характеристика ВСХ (рис. 39). ВСХ разрядника должна быть ниже ВСХ изоляции.

К разрядникам предъявляются следующие требования:

- ВСХ разрядника ниже ВСХ защищаемого оборудования.
- Искровой промежуток должен гарантировать электрическую прочность на промышленной частоте.
- Остающееся напряжение на разряднике не должно превышать значений, которые опасны для изоляции оборудования.
- Сопровождающий ток должен отключаться за малое время.

- Как можно большее число срабатываний без ремонта и ревизии.

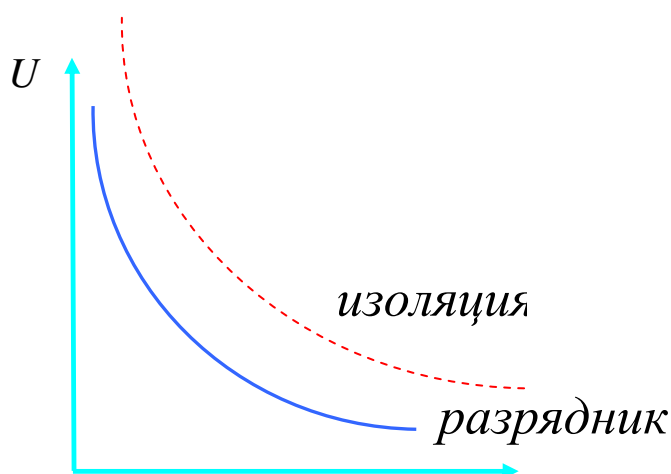


Рис. 39. Вольт-секундная характеристика

Разрядники бывают трубчатые, вентильные, магнитовентильные.

Трубчатые разрядники. Разрядник (рис. 40) представляет собой дугогасительную трубку 3 из полихлорвинила, на концах которой закреплены металлические наконечники: верхний, закрытый 2 и нижний, открытый 7. Внутри трубки помещается стержневой электрод 4, который крепится в хвостовике 9 верхнего наконечника. Вторым электродом внутреннего искрового промежутка служит шайба 6, закреплённая в нижнем наконечнике. При помощи хомутов 5 нижний наконечник (разрядник) крепится к заземлённой конструкции. К нижнему же наконечнику крепится ленточный указатель срабатывания 8, свободный конец которого изгибается и заводится внутрь наконечника. При срабатывании разрядника конец указателя выбрасывается газовым дутьём, и лента выпрямляется.

С целью разгрузки изоляции разрядника от электрического поля при номинальном режиме разрядник отделяется от линии наружным ($l_{нар}$) искровым промежутком, для регулирования которого служит удлинитель (рог) 1. При возникновении перенапряжения пробиваются оба промежутка ($l_{нар}$ и $l_{вн}$). Возникающая в трубке дуга вызывает интенсивную газогенерацию из стенок трубки. Газы устремляются через выхлопное отверстие в шайбе 6 и открытый наконечник, образуя интенсивное продольное дутьё, которое гасит дугу при прохождении тока через нуль, одновременно гаснет и дуга на искровом промежутке $l_{нар}$.

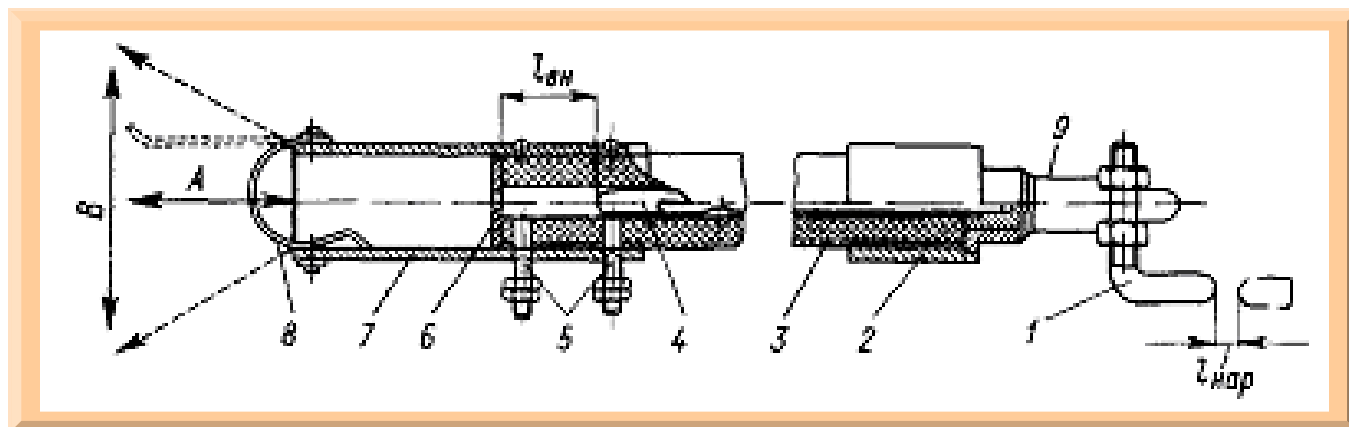


Рис. 40. Общий вид трубчатого разрядника

Вентильные разрядники. Вентильный разрядник (рис. 41) состоит из 2-х основных частей: блока искровых промежутков 4, в который входит несколько последовательно соединённых единичных искровых промежутков 3, шунтированных подковообразными нелинейными резисторами 9, предназначенными для выравнивания распределения напряжения, и рабочего резистора, составленного из набора последовательно включённых вилитовых дисков 2. Вилит – SiC (карбамид кремния). Для его получения выполняется обработка кварцевого песка при температуре 2000 °С. Полученный кристаллический карбамид кремния дробится и, чтобы не имел сыпучести, смешивается с жидким стеклом. Искровые промежутки заключены в фарфоровые цилиндры 5.

Блок искровых промежутков соединён последовательно с рабочим резистором, закрыт фарфоровым кожухом 1, сжат спиральной пружиной 6 и герметизирован озоноустойчивой резиной 7. Разрядник крепится при помощи фланцев 8 к чугунному основанию.

Провод фазы линии высокого напряжения подключается к болту на крышке. Заземляющий проводник присоединяется к чугунному основанию разрядника непосредственно или через счётчик срабатываний.

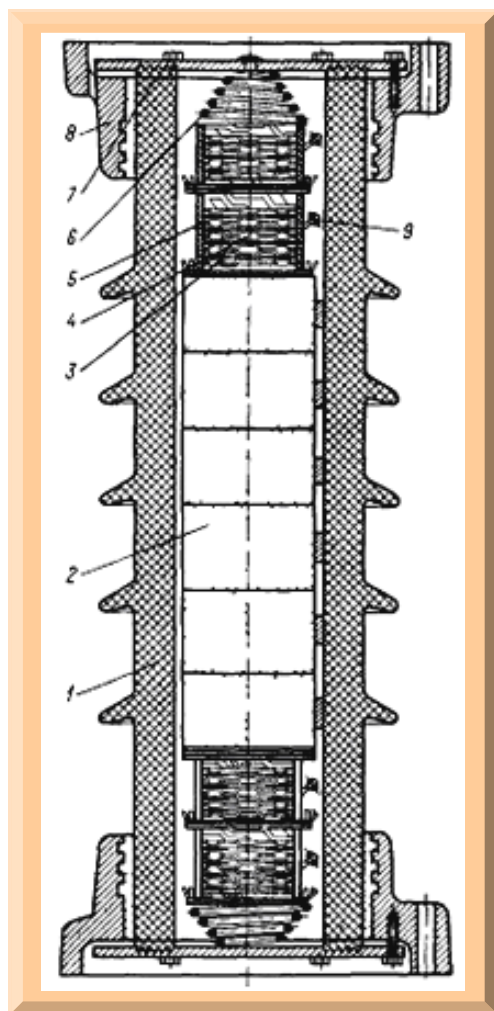


Рис. 41. Вентильный разрядник:

1 - фарфоровый цилиндр; 2 - единственный искровой промежуток; 3 - постоянные магниты кольцевой формы; 4 - пружина; 5 - стальные крышки; 6,8 - медные электроды; 7 - щель между электродами.

Магнито-вентильные разрядники. Эти разрядники выполняются на номинальные напряжения **150 – 500 кВ (рис. 42)**. Они комплектуются из стандартных искровых блоков (**на 30 кВ**) с магнитными искровыми промежутками и соответствующего числа дисков вилитовых резисторов.

Блок магнитных искровых промежутков (**рис. 42**) представляет собой набор единичных искровых промежутков **2**, расположенных попеременно с постоянными магнитами **3** кольцевой формы. Все устройство размещено в фарфоровом цилиндре **1** и закрыто стальными крышками **5**. Крепление всех элементов внутри цилиндра осуществляется за счет давления пружины **4**. Каждый блок шунтируется резисторами с высокоомным нелинейным сопротивлением.

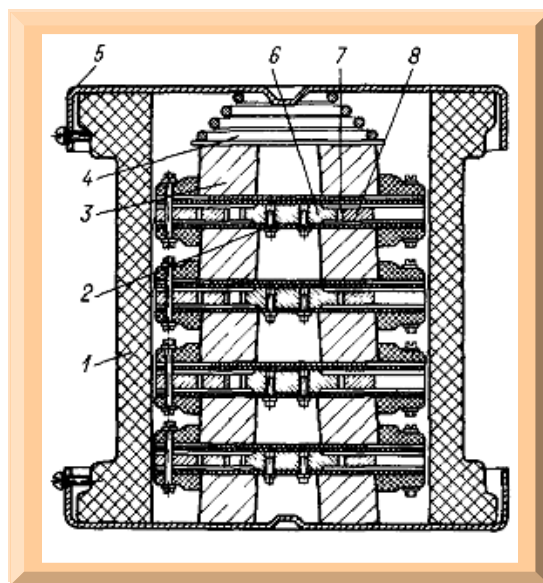


Рис. 42. Блок с магнитными искровыми промежутками

Единичный магнитный искровой промежуток состоит из двух concentrically расположенных медных электродов **6** и **8**. Щель **7** между ними образует искровой зазор. Кольцевые магниты **3** создают в щели магнитное поле (**480 – 640 А/см**).

Возникающая в щели дуга начинает вращаться по кольцевой щели с большой скоростью. По сравнению с обычными искровыми промежутками пропускная и дугогасительная способность магнитного искрового промежутка много выше.

ГЛАВА 7. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

7.1. Трансформаторы тока

Для удобства измерения тока в установках высокого напряжения и изоляции измерительных приборов и устройств релейной защиты от высокого напряжения служат трансформаторы тока **ТТ**. Трансформатор тока имеет замкнутый магнитопровод с двумя обмотками. Через первичную обмотку пропускается измеряемый ток, вторичная обмотка подключается к измерительным приборам или реле. Первичная обмотка изолирована от вторичной в соответствии с классом изоляции аппарата. Один вывод вторичной обмотки обязательно заземляется.

Различаются одновитковые и многовитковые трансформаторы тока. В одновитковом **ТТ** первичная обмотка может быть выполнена в виде стержня, шины или пакета шин. Примером такого исполнения является трансформатор тока **ТПЛ - 10** с номинальным напряжением **10 кВ** (рис. 43), который используется как проходной изолятор при переходе линии из одного помещения в другой.

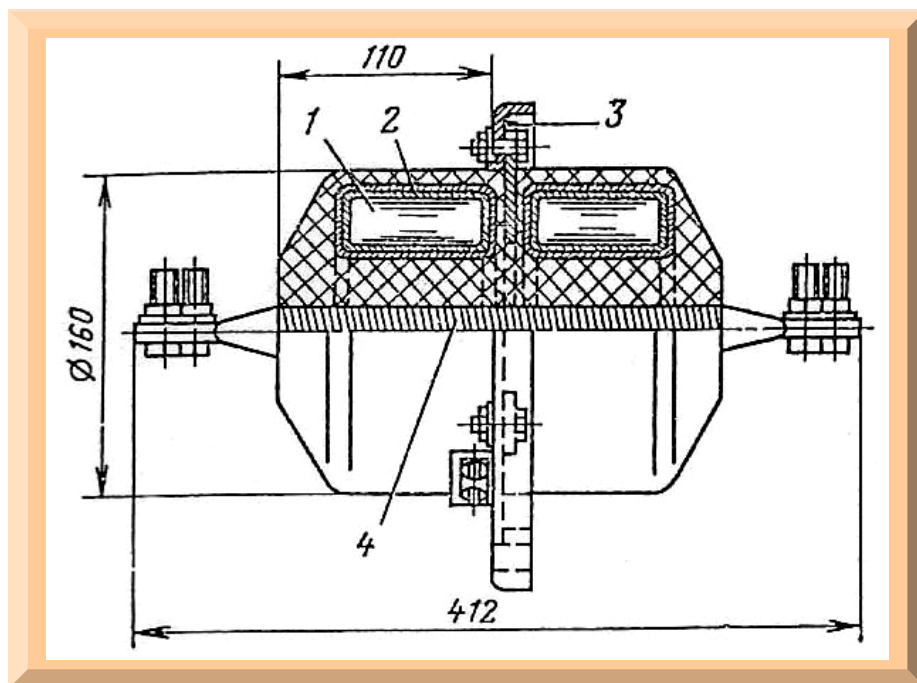


Рис. 43. Одновитковый ТТ типа ТПОЛ-10:

1 - магнитопровод в виде двух тороидальных сердечников; 2 - вторичная обмотка; 3 - крепежное кольцо; 4 - первичная обмотка - стержень

7.2. Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения **ТН** служат для преобразования высокого напряжения в низкое стандартное напряжение, удобное для измерения. Обычно за номинальное вторичное напряжение принимается 100 В или $100/\sqrt{3}$ В. Это позволяет для измерения любого высокого напряжения применять одни и те же измерительные приборы. Реле защиты также выпускаются на тоже стандартное напряжение независимо от номинального напряжения защищаемой установки.

Первичная обмотка трансформатора напряжения изолируется от вторичной соответственно классу напряжения установки. Для безопасности обслуживания один вывод вторичной обмотки заземляете. Таким образом, трансформатор напряжения отъединяет измерительные приборы и реле от цепи высокого напряжения и делает безопасным их обслуживание.

Первичная обмотка **W1** присоединена к цепи высокого напряжения через предохранители **FU1, FU2 (рис. 44)**. Вторичная обмотка **W2** питает нагрузку в виде обмоток измерительных приборов или реле защиты через предохранители **FU3, FU4**. В нормальной конструкции трансформатора заземляются и вторичная обмотка **W2** и магнитопровод.

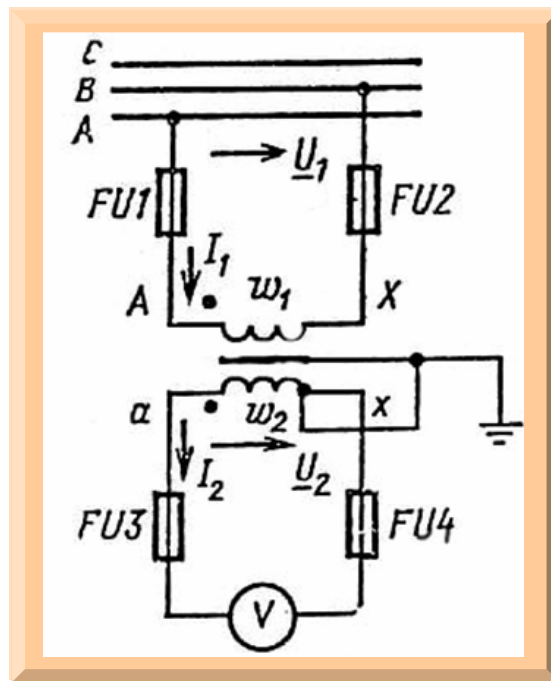


Рис. 44. Схема включения однофазного ТН

Конструкция ТН на напряжение до **35 кВ** аналогична конструкции силовых трансформаторов. При этом индукция в магнитопроводе значительно меньше, чем у силовых трансформаторов. Это снижает погрешность, позволяет в некоторых случаях проводить испытания индуцированным напряжением. Для испытания **ТН** на выходе вторичной обмотки подается удвоенное напряжение частотой **50 Гц**. На первичной обмотке появляется также удвоенное напряжение. Индукция не должна превышать индукцию насыщения.

Для напряжений меньше **35 кВ** выпускаются однофазные трансформаторы напряжений, у которых оба или один из выводов обмотки высокого напряжения изолированы от земли (второй вывод заземлен).

Для контроля сопротивления изоляции систем с изолированной нейтралью применяются трехфазные пятистержневые ТН (**рис. 45**). При заземлении одной из фаз магнитные потоки, созданные обмотками неповрежденных фаз, замыкаются по крайним стержням, имеющим малое магнитное сопротивление. Дополнительные обмотки, соединенные в открытый треугольник a_1x_1 обеспечивают работу сигнализации и релейной защиты. При симметричном режиме в сети на выходе a_1x_1 напряжение отсутствует.

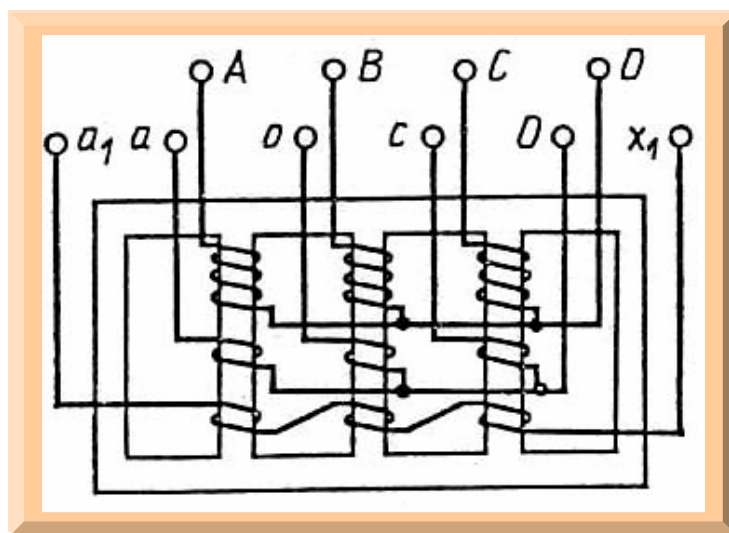


Рис. 45. Трансформатор напряжения с пятистержневым магнитопроводом

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выполнена контактная система масляных баковых выключателей?
2. Каков процесс отключения у воздушных выключателей ВВП-35 и ВВБ?
3. Каковы достоинства и недостатки элегазовых выключателей?
4. Каково движение электрической дуги в электромагнитных выключателях при размыкании контактов?
5. Чем отличаются отделители от разъединителей конструктивно и по назначению?
6. Каково устройство бетонного реактора?
7. Что происходит при срабатывании трубчатого разрядника?
8. В чем конструктивное отличие магнитовентильного разрядника от вентильного?
9. К какой группе трансформаторов можно отнести трансформаторы тока и напряжения?

РАЗДЕЛ 3. АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ГЛАВА 8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Автоматы служат для отключения токов короткого замыкания, токов перегрузок и для нечастых оперативных отключений. По назначению и способу конструирования их можно разделить на выключатели общего назначения, быстродействующие и специальные.

8.1. Выключатели общего назначения

По роду тока выключатели классифицируются на автоматы постоянного тока, переменного тока, постоянного и переменного токов. Бывают токоограничивающие и не токоограничивающие выключатели.

Токоограничивающие выключатели - это выключатели, которые отключают ток короткого замыкания, не успевший достигнуть установившегося значения.

Не токоограничивающие бывают с выдержкой времени в зоне тока короткого замыкания и без неё. Выдержка времени используется для обеспечения селективности защиты.

Различают несколько разновидностей выключателей: универсальные (работают на постоянном и переменном токе), установочные (предназначаются для установки в общедоступных помещениях), быстродействующие постоянного тока, гашения магнитного поля мощных генераторов и др.

Выключатели состоят из следующих основных элементов: главной контактной системы, дугогасительной системы, привода, расцепляющего устройства, расцепителей и вспомогательных контактов.

На **рис. 49** приведена упрощенная схема универсального выключателя. В указанном положении выключатель отключен и электрическая цепь, подсоединенная к выводам **А** и **Б**, разомкнута.

Для включения выключателя надо вращать по часовой стрелке рукоятку **3**. Создается усилие, которое, перемещая рычаги **4** и **5** вправо, будет поворачивать

основную несущую деталь **6** выключателя вокруг неподвижной оси **О** по часовой стрелке.

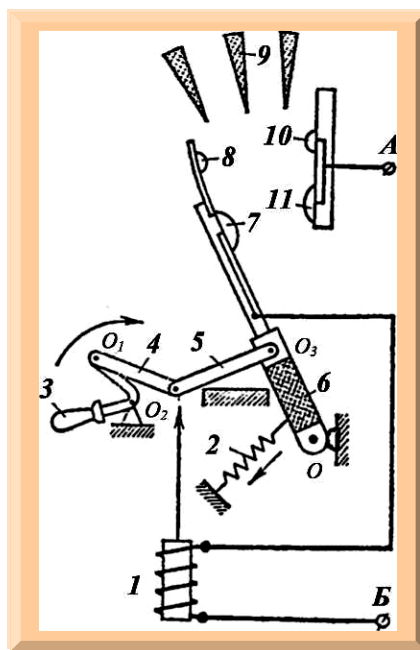


Рис. 46. Упрощенная схема автоматического выключателя

При этом замыкаются и включают цепь тока вначале дугогасительные **8** и **10**, а затем главные **7** и **11** контакты, и взводится отключающая пружина **2**. После включения вся система остается в крайнем правом положении, зафиксированном специальной защелкой (на рис. 49 не показана).

Когда по катушке **1** электромагнитного расцепителя проходит ток короткого замыкания, на его якоре создается электромагнитная сила, переводящая рычаги **4** и **5** вверх за мертвую точку, в результате чего выключатель отключается автоматически пружиной **2**. При этом контакты размыкаются и возникающая на них дуга, выдувается в дугогасительную камеру **9** и гасится в ней.

Система шарнирно связанных рычагов **4** и **5** выполняет функцию расцепляющего устройства, которое в реальных выключателях имеет более сложное устройство.

Расцепляющее устройство позволяет выключателю отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения на существующее в электрической цепи короткое замыкание. Если рычаги **4** и **5** переведены вверх за мертвую точку, то жесткая связь между приводной рукояткой **3** и подвижной деталью **6** нарушается и выключатель не включается. Мертвая точка соответствует такому положению рычагов **4** и **5**, когда прямые линии O_1O_2 и O_2O_3 , соединяющие оси враще

ния рычагов, находятся на одной линии. Система рычагов расцепляющего устройства строится так, что для их расцепления требуются незначительные усилия.

При отключении выключателя первыми размыкаются главные контакты **7** и **11** и весь ток перейдет в параллельную цепь дугогасительных контактов **8** и **10** с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы эти контакты не обгорали. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая выдувается вверх и гасится в дугогасительной камере **9**.

При включении автомата первыми замыкаются дугогасительные контакты, а затем главные. Возможная из-за вибрации контактов электрическая дуга возникает и гасится лишь на дугогасительных контактах.

Автоматические выключатели характеризуются:

- **номинальным напряжением - максимальным напряжением сети, при котором допускается применять выключатель;**
- **номинальным током - максимальным током, который выдерживает выключатель длительное время;**
- **собственным временем срабатывания - временем от момента, когда контролируемый параметр превзошел установленное для него значение, до момента начала расхождения контактов, или временем от подачи импульса на отключение до момента начала расхождения контактов. Это время зависит от способа расцепления и конструкции расцепляющего устройства выключателя, от силы отключающих пружин, массы подвижной системы и пути этой массы до момента размыкания контактов;**
- **- полным временем срабатывания - собственным временем отключения плюс время гашения дуги t_1 , зависящее главным образом от эффективности дугогасительного устройства.**

Основным элементом любого автомата является расцепитель, который контролирует заданный параметр защищаемой цепи и воздействует на механизм расцепления. Он встроен в выключатель. Расцепители конструктивно исполняются двух типов:

- **на базе электромеханических реле;**
- **на базе статических реле (полупроводниковые элементы).**

В настоящее время широко применяются полупроводниковые расцепители. Они имеют улучшенные эксплуатационные характеристики, широкие диапазоны ре

гулирования токов и времени срабатывания, что позволяет унифицировать изделия и выпускать меньшую их номенклатуру, не имеют большого количества подвижных элементов. В измерительных органах таких расцепителей применяются трансформаторы тока, а одним из основных элементов является элемент выдержки времени.

Существуют следующие виды расцепителей:

- **Максимальный расцепитель** отключает тока короткого замыкания.
- **Тепловой расцепитель** отключает токи перегрузки.
- **Комбинированный** – сочетание первого и второго расцепителя.
- **Расцепитель минимального напряжения** отключает при снижении напряжения сети меньше определенного значения или при исчезновении напряжения.
- **Независимые расцепители** служат для дистанционного управления выключателем.

Максимальный расцепитель. Токоведущая линия **1** (рис. 47) одного полюса связана с катушкой расцепителя. При протекании тока короткого замыкания якорь притягивается к сердечнику расцепителя, растягивая пружину **4**. Отключающий вал **3** освобождается и воздействует на расцепляющее устройство (систем рычагов с защелкой). Ток срабатывания устанавливается натяжением пружины **4**.

Тепловой расцепитель. Тепловой расцепитель представляет собой биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие пружину, отводящую подвижный контакт, разрывая тем самым электрическую цепь. Время срабатывания зависит от тока (времятоковая характеристика) и может изменяться от секунд до часа. Минимальный ток, при котором должен срабатывать тепловой расцепитель, составляет **1,45** от номинального тока предохранителя.

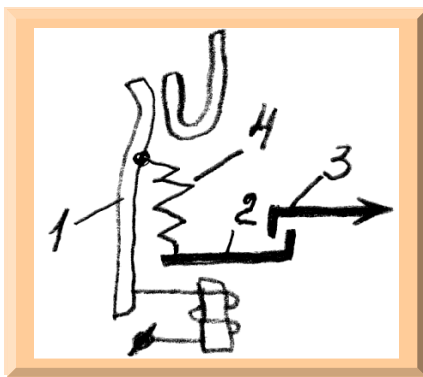


Рис. 47. Максимальный расцепитель

В отличие от плавкого предохранителя, автоматический выключатель готов к следующему использованию после остывания пластины.

Комбинированный расцепитель. В комбинированном расцепителе при перегрузках срабатывает электротепловой расцепитель (рис. 48): биметаллическая пластинка 2 вследствие нагрева изгибается и винтом 3 поворачивает отключающий валик 4. При коротком замыкании срабатывает электромагнитный расцепитель, состоящий из сердечника 7 и якоря 5, охватывающих токопровод 6.

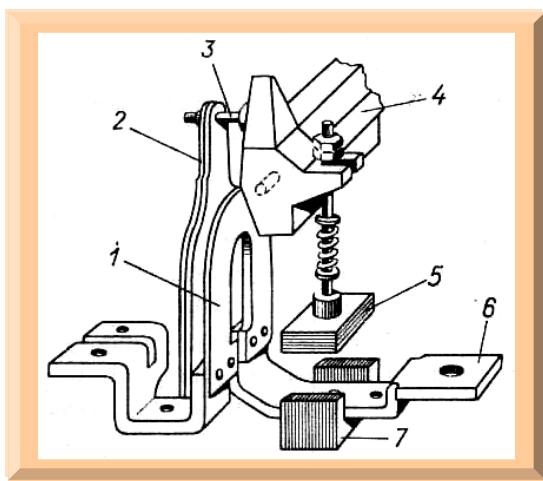


Рис. 48. Комбинированный расцепитель

Расцепитель минимального напряжения состоит из трех основных деталей: сердечника, якоря и катушки. При номинальном напряжении якорь притянут. При уменьшении напряжения якорь под действием пружины отпадает и воздействует на расцепляющее устройство через защелку.

Расцепитель минимального напряжения РМ 47 (рис. 49) предназначен для отключения **одно-, двух-, трех- или четырехполюсного** автоматического выключателя серии **ВА 47** при недопустимом снижении напряжения. Конструктивно представляет собой электронный пороговый элемент, который подключается к контролируемой электрической цепи. К выходу порогового элемента подключен электромагнит, который через рычаг воздействует на механизм сброса независимого расцепления автоматических выключателей. При срабатывании независимого расцепителя из лицевой панели выступает кнопка **"ВОЗВРАТ"**. Для повторного включения отключившегося автоматического выключателя необходимо нажать на кнопку **"ВОЗВРАТ"** до фиксации. Данная особенность исполнения конструкции **РМ 47** позволяет

определить причину отключения автоматического выключателя: появление сверхтока в защищаемой цепи либо снижение напряжения до недопустимого значения.

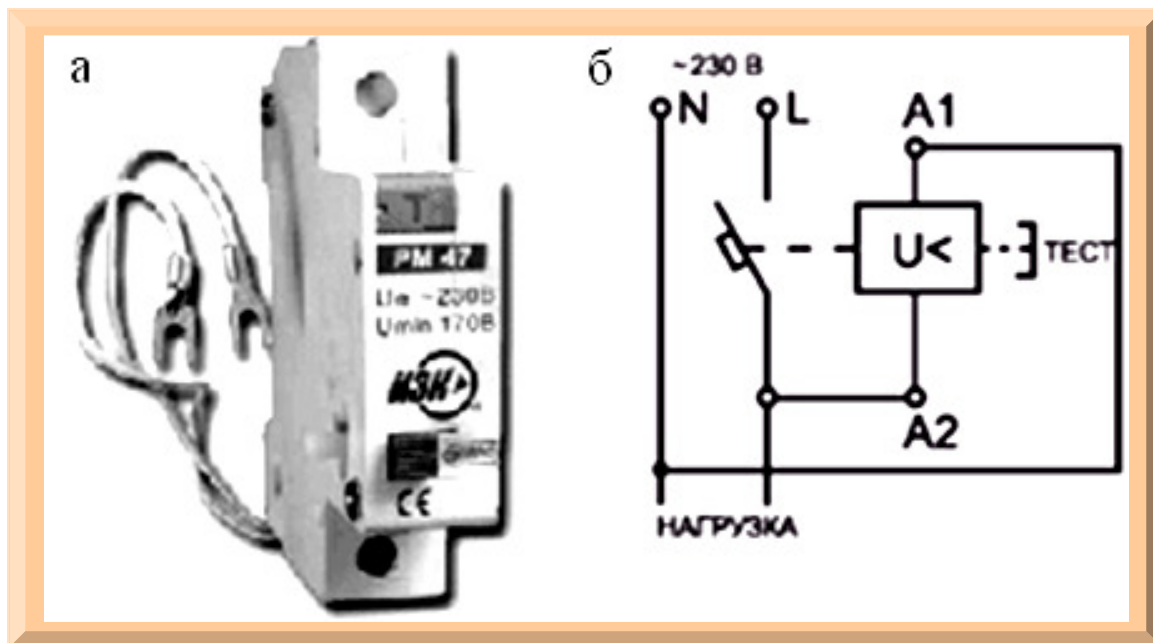


Рис. 49. Расцепитель минимального напряжения РМ 47:

а - внешний вид; б - схема

РМ 47 имеет встроенную цепь контроля работоспособности, которая приводится в действие кнопкой **"ТЕСТ"**. При нажатии на кнопку **"ТЕСТ"** происходит срабатывание расцепителя и отключение автоматического выключателя.

8.2. Токоограничивающие и быстродействующие автоматические выключатели

Токоограничивающие выключатели получили распространение на электрифицированных железных дорогах, на линиях метро, где применяется постоянный ток с напряжением до **3000 В**. Они необходимы в выпрямительных полупроводниковых установках. Все возрастающее значение этих выключателей обусловлено тем, что они ликвидируют аварию раньше, чем она успевает развиться до своих максимальных размеров.

Выключатели серии БВП. На общей раме выключателя **БВП-5** (рис. 50) расположены магнитопровод **8** с удерживающей катушкой, размагничивающий виток с сердечником **7**, параллельно ему включенный магнитный шунт **9**, якорь **10** с шарнирно укрепленным на нем рычажным подвижным контактом **4**, неподвижный

контакт **5** с дугогасительной катушкой **6**, отключающая пружина **3**, привод (в данном случае электропневматический — цилиндр **1** и система рычагов **11**) и узел вспомогательных контактов **2**.

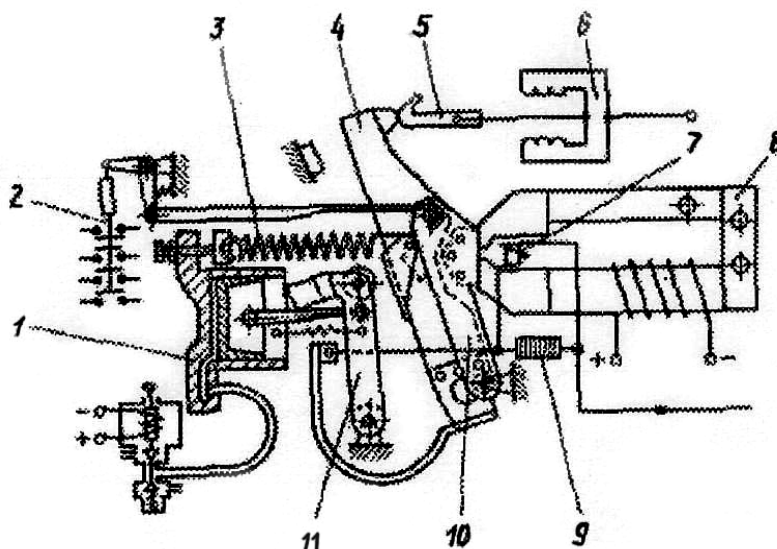


Рис. 50. Схема конструкции токоограничивающего выключателя

Быстродействие автомата может быть повышено за счет сокращения собственного времени отключения и времени гашения дуги. Последнее ограничивается уровнем перенапряжений. Чем быстрее уменьшается ток, тем выше перенапряжение. Длительность гашения дуги в настоящее время доведена до $(1,5-2) \cdot 10^{-2}$ с (на постоянном токе).

При неисправностях (пробой изоляции, внутреннее замыкание и т. п.) в обмотках электрических машин необходимо как можно быстрее погасить магнитное поле возбуждения машины. Чем быстрее исчезнет магнитное поле, тем меньшими будут повреждения. Эту задачу осуществляют выключатели гашения магнитного поля, отключая обмотку возбуждения от источника питания. Однако непосредственное ее отключение недопустимо. Вследствие большой индуктивности обмотки при обрыве тока на ее зажимах возникает чрезвычайно большое напряжение, способное вызвать нарушение (пробой) изоляции самой обмотки.

Широкое распространение получил способ гашения поля путем разрядки обмотки возбуждения на постоянный или переменный резистор. Применяемые в этом случае выключатели (рис. 51, а) имеют две пары контактов: замыкающие **3** и размыкающие **4**. Контакты коммутуют с перекрытием. При включении замыкающими контактами подключаются к источнику питания (возбудителю **2**) обмотка возбуждения **1** и разрядный резистор R_p , а размыкающими контактами через очень не

большое время (сотые доли секунды) отключается цепь разрядного резистора. Питание получает только обмотка возбуждения L . При отключении (аварийном или оперативном) работа контактов осуществляется в обратном порядке. Вначале подключается к обмотке возбуждения разрядный резистор, а затем обмотка возбуждения, шунтированная разрядным резистором, отключается от источника питания. Происходит разряд обмотки возбуждения на подключенный к ней резистор.

На **рис. 51, б** приведена схема выключателя, в котором разрядный резистор заменен дугогасительной решеткой 5, подключенной параллельно контактам 4. Во включенном положении выключателя, как и ранее, контакты 3 замкнуты, а контакты 4 разомкнуты. При отключении контакты 4 замыкаются, контакты 3 размыкаются (как и ранее), а затем контакты 4 вновь размыкаются. Возникающая на них электрическая дуга загоняется магнитным полем в дугогасительную решетку, где она горит во время всего процесса гашения поля. Выключатель по схеме **рис. 51, б** имел сложную кинематику и требовал дополнительного ограничивающего резистора 6, который, как указывалось, несколько снижал эффективность гашения.

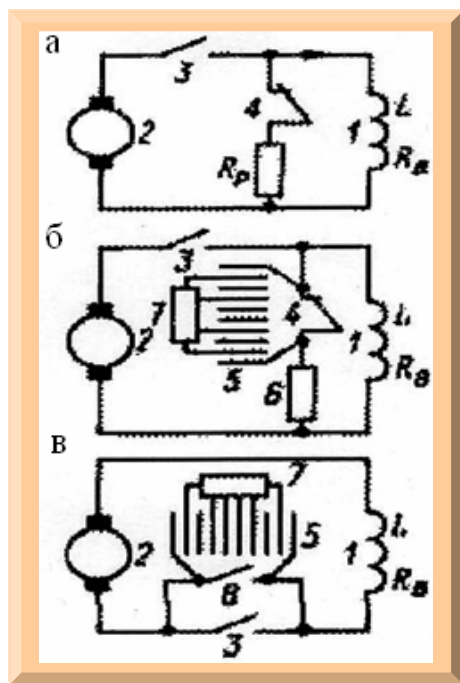


Рис. 51. Схема выключателя гашения магнитного поля:

а - путем разрядки на резистор; **б** - путем разрядки дугогасительной решеткой; **в** - путем разрядки дугогасительной решеткой, с простой кинематикой

Та же идея была осуществлена в выключателе гашения поля (**рис. 51, в**) с обычной для автоматических выключателей кинематикой. Выключатель имеет основные 3 и дугогасительные 8 контакты, шунтированные дугогасительной решеткой.

Первыми размыкаются основные контакты, а затем дугогасительные, на которых возникает электрическая дуга. Внешним магнитным полем, дуга загоняется в решетку **5**, где она и гаснет. Резистор **7** служит для той же цели. Резистор **6** отсутствует.

Выключатели серии АГП. Общий вид одного из выключателей серии **АГП**, выполненного с последовательным включением дугогасительной решетки, приведен на рис. 52. Токопровод **15** и основные контакты: неподвижные **2** и подвижные **1** расположены открыто, дугогасительные контакты **9**, **10** размещены в камере дугогашения. Возникающая при отключении дуга под действием поперечного магнитного поля, создаваемого последовательной катушкой **5**, быстро перемещается по рогам **8** и проникает в дугогасительную решетку **7**.

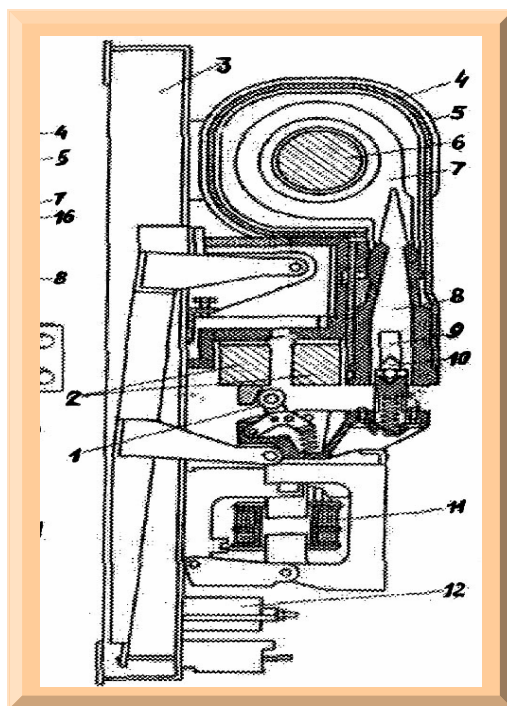


Рис. 52. Общий вид одного из выключателей серии АГП

Решетка состоит из ряда медных пластин, изолированных друг от друга кольцами из фибры **14**. Пластины насажены на стальной изолированный стержень **6**. Снаружи решетка охвачена изолированным стальным кожухом **4**. С боков решетки размещены катушки **5**. Катушки включаются самой дугой в момент вхождения ее в решетку. Они намотаны так, что их магнитные поля направлены навстречу друг другу. В результате между стержнем и кожухом возникает радиальное магнитное поле. Дуга, попав в такое поле, приходит во вращательное движение вокруг оси решетки. Она движется с большой скоростью и не плавит пластин решетки. Вся энергия, вы

деляющаяся в дуге, распределяется по поверхности пластин и поглощается ими. Включающий электромагнит **11**с электромагнитной защелкой **12** служит только для включения. Во включенном положении выключатель удерживается защелкой. При освобождении защелки выключатель отключается. Выключатель снабжается соответствующим числом вспомогательных контактов **13** для цепей управления и сигнализации. Монтируется выключатель на стальной плите **3**.

Автоматы серии АП. Автоматы серии **АП 50** применяются для защиты участков общепромышленных сетей постоянного тока с напряжением до **220 В** и переменного тока с напряжением до **500 В**, а также для редких включений и отключений трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Автоматы серии **АП 50** выпускаются с тепловыми и электромагнитными расцепителями или без расцепителей (неавтоматические выключатели), без блок-контактов и с блок-контактами: одним замыкающимся (нормально-открытым) и одним размыкающимся (нормально-закрытым) или двумя замыкающимися и двумя размыкающимися контактами. В цепи переменного тока с напряжением до **380 В** и коэффициентом мощности не менее **0,5** блок-контакты могут включать ток до **10 А** и отключать ток **1 А**. В цепи постоянного тока с напряжением до **220 В** при постоянной времени цепи до **10 мс** они могут включать ток **0,5 А**.

На выключателе **АП 50** может быть установлен также расцепитель минимального напряжения. Он состоит из катушки напряжения, магнитопровода и механических звеньев привода, соединяющих якорь расцепителя с рейкой механизма свободного расцепления. Расцепитель минимального напряжения не допускает включения автоматического выключателя при напряжении сети меньше **80 %** номинального и отключает выключатель при снижении напряжения ниже **50 %** номинального.

Автоматические выключатели серии А 3100 (установочные автоматы) выполняются на токи **50, 100, 200 и 600 А** и напряжение **220 В** постоянного тока, **380 и 500 В** переменного тока частотой **50 и 60 Гц**, а также на токи до **160 А** для повышенной частоты **400 и 2400 Гц** и напряжение **400 и 500 В** соответственно.

Выключатели выпускаются двух- и трехполюсные (на **50 А** также однополюсные) с тепловыми, электромагнитными (максимальными) и комбинированными расцепителями. Отключающая способность достигает **50 кА**.

Автоматические выключатели серии А 3700. Автоматические выключатели серии **А 3700** выполняются четырех габаритов: **40, 80 и 160 А** (один габарит);

250, 400 и 630 А на 660 В переменного тока частотой **50 и 60 Гц** и **440 В** постоянного тока. По роду защиты могут быть токоограничивающими, с выдержкой времени и неавтоматические.

Автоматические выключатели серии АЕ 2000. Автоматический выключатель серии **АЕ 2000** – выключатель с непосредственным ручным управлением, предназначенный для оперативного включения и отключения электрических цепей с частотой до **30** включений в час, для защиты этих цепей от перегрузок и токов короткого замыкания, для защиты, пуска и останова асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Выключатели серии **АЕ 2000** применяются во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства, они рассчитаны для установки в электрических цепях переменного тока частотой **50** или **60 Гц**, напряжением до **660 В**. Номинальный ток выключателей **10, 25, 63, 100 А**. Они выпускаются с электромагнитными и тепловыми расцепителями. Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, воздействующий на расцепляющее устройство выключателя при токах короткого замыкания. Если ток в его катушке превышает определенное, заранее установленное значение, то электромагнитный расцепитель срабатывает практически мгновенно.

Действие тепловых расцепителей основано на использовании нагрева биметаллической пластины. Они осуществляют защиту электрической цепи от токов перегрузки. Тепловые расцепители имеют обратно зависимую характеристику.

8.3. УЗО - УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от сверхтока, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания. Защита от сверхтока (при применении защитного зануления) обеспечивает защиту человека при косвенном прикосновении - путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями поврежденного участка цепи при коротком замыкании на корпус.

При малых токах замыкания, снижении уровня изоляции, а также при обрыве нулевого защитного проводника зануление недостаточно эффективно, поэтому в этих случаях **УЗО** является единственным средством защиты человека от электропоражения.

В основе действия защитного отключения, как электрозащитного средства, лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением. Из всех известных электрозащитных средств **УЗО** является единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Другим, не менее важным свойством **УЗО** является его способность осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

Короткие замыкания, как правило, развиваются из дефектов изоляции, замыканий на землю, утечек тока на землю. **УЗО**, реагируя на ток утечки на землю или защитный проводник, заблаговременно, до развития в короткое замыкание, отключает электроустановку от источника питания, предотвращая тем самым недопустимый нагрев проводников, искрение, возникновение дуги и возможное последующее возгорание.

Функционально **УЗО** можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Основные функциональные блоки **УЗО** представлены на [рис. 53](#).

Важнейшим функциональным блоком **УЗО** является дифференциальный трансформатор тока **1**. В абсолютном большинстве **УЗО**, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется именно трансформатор тока. В литературе по вопросам конструирования и применения **УЗО** этот трансформатор иногда называют трансформатором тока нулевой последовательности - **ТТНП**, хотя понятие "нулевая последовательность" применимо только к трехфазным цепям и используется при расчетах несимметричных режимов многофазных цепей.

Пусковой орган (пороговый элемент) **2** выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах.

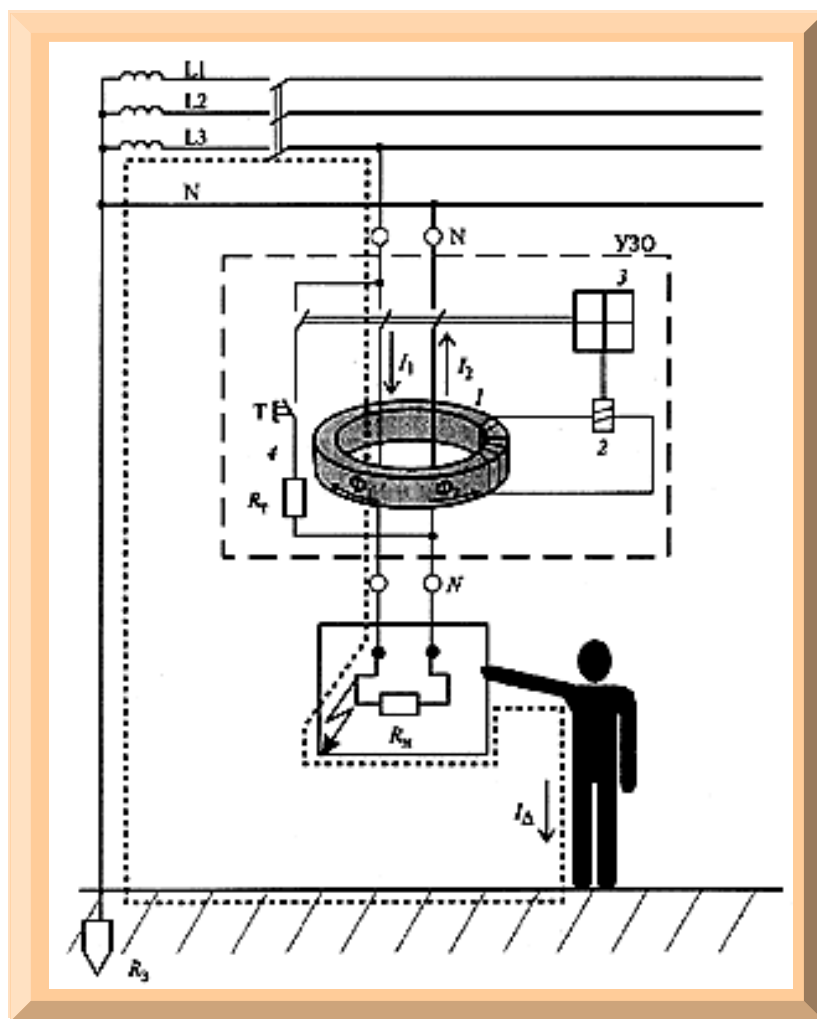


Рис. 53. Структура УЗО

Исполнительный механизм **3** включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока – тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока **1** протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока.

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 , а от нагрузки как I_2 , то можно записать равенство: $I_1 = I_2$.

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган **2**

находится в этом случае в состоянии покоя. При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток - ток утечки (I_{Δ}), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_{\Delta}$), в фазном проводнике и (I_2 , равный I_1 , в нейтральном проводнике) вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки "Тест" искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

По условиям функционирования УЗО подразделяются на следующие типы: АС, А, В, S, G.

УЗО типа АС - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий.

УЗО типа А - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие.

УЗО типа В - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи.

УЗО типа S - устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

УЗО типа G - то же, что и типа S, но с меньшей выдержкой времени.

Рекомендации по применению УЗО типа «АС»:

- В жилых и общественных зданиях – для повышения уровня электробезопасности цепей штепсельных розеток и оборудования – использовать УЗО с током срабатывания 30 мА. Для повышения уровня защиты от возгорания при замыкании требуется УЗО с током срабатывания 300 мА.

- В ванных и душевых помещениях требуется устанавливать **УЗО** с током срабатывания **10 мА**, если на них выделена отдельная линия и током **30 мА** в остальных случаях.

- На строительных площадках в соответствии с требованием российского стандарта (**ГОСТ Р50571.23-2000**), должны быть установлены в каждом распределительном щите для защиты цепей штепсельных розеток **УЗО** с током срабатывания до **30 мА**.

- На промышленных объектах для защиты цепей штепсельных розеток устанавливается **УЗО** с током срабатывания не более **30 мА**, во всех вводно-распределительных щитах для защиты от пожаров должно быть установлено **УЗО** с номинальным отключающим дифференциальным током не превышающим **0,5 А**.

- В сельскохозяйственных объектах для защиты цепей штепсельных розеток устанавливается **УЗО** с током срабатывания не более **30 мА**., в животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи **УЗО** с номинальным отключающим дифференциальным током не менее **100 мА**, устанавливаемых в вводном щитке.

УЗО типа «**А**» реагирует как на синусоидальный, так и пульсирующий постоянный дифференциальный ток. Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, видеомagniтофоны, персональные компьютеры и др.

Наряду с вышеуказанными свойствами **УЗО** обладает стойкостью к импульсному току **3 кА**. Это **УЗО** не требует дополнительной защиты от сверхтока.

УЗО типа **ТК** предназначено для тех случаев применения, когда необходима высокая функциональная надежность **УЗО**, и собственная защита **УЗО** от сверхтока стоит на первом месте. Сокращение **ТК** означает: **Т** - собственная тепловая защита аппарата, **К** - устойчивость к короткому замыканию до **10 кА** без дополнительной защиты плавким предохранителем. Эти **УЗО** имеют кратковременную задержку времени, равную **10 мс**. Их рекомендуется использовать в электроустановках, с высокой вероятностью появления перенапряжения. Например:

- в зонах с интенсивной грозовой активностью;
- при подключении электроустановок в сельской местности к воздушным линиям электропередач;

- при коммутации электрических цепей с большой индуктивной или емкостной нагрузкой.

УЗО типа **G** имеют повышенную стойкость к кратковременным перенапряжениям благодаря выдержке времени **10 мс**. Тем самым ослабляется действие подобных сетевых помех.

Селективное **УЗО** предназначено, прежде всего, для использования в качестве главного **УЗО** электроустановок. Селективность его работы с **УЗО** общего применения и **УЗО** типа **G** обеспечивается задержкой времени отключения около **60 мс**.

УЗО типа **S** нельзя применять как единственное устройство в электроустановке. Кроме него, следует использовать **УЗО** общего применения, которые обеспечивают защиту людей от поражения электрическим током. **УЗО** типа **S** контролирует качество изоляции токоведущих частей во всей электроустановке и применяется, как правило, для защиты от пожара.

Классификация УЗО по способу технической реализации. Принципиальное значение при рассмотрении конструкции **УЗО** имеет разделение устройств по способу технической реализации на следующие два типа:

- **УЗО**, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические). Источником энергии, необходимой для функционирования, выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является для устройства сам сигнал (дифференциальный ток), на который оно реагирует;

- **УЗО**, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника. Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, более ограничено в силу их меньшей надежности, подверженности воздействию внешних факторов и др. Однако основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно при обрыве нулевого проводника в цепи до **УЗО** по направлению к источнику питания. В этом случае "электронное" **УЗО**, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал.

В конструкции "электронных" **УЗО**, производимых в США, Японии, Южной Корее и в некоторых европейских странах (рис. 54), как правило, заложена функция отключения от сети защищаемой электроустановки при исчезновении напряжения

питания. Эта функция конструктивно реализуется с помощью электромагнитного реле, работающего в режиме самоудерживания. Силовые контакты реле находятся во включенном положении только при протекании тока по его обмотке (аналогично магнитному пускателю).

При исчезновении напряжения на вводных зажимах устройства якорь реле отпадает, при этом силовые контакты размыкаются, защищаемая электроустановка обесточивается. Подобная конструкция **УЗО** обеспечивает гарантированную защиту от поражения человека в электроустановке и в случае обрыва нулевого проводника.

В США применяются в основном **УЗО**, встроенные в розеточные блоки. На одном объекте, например, небольшой квартире устанавливается по **10-15** устройств. Розетки, не оборудованные **УЗО**, обязательно запитываются шлейфом от розеточных блоков с **УЗО**.

К сожалению, в нашей стране, в отличие от общепринятой в мировой практике концепции, целым рядом предприятий производятся электронные **УЗО** на базе типового автоматического выключателя.

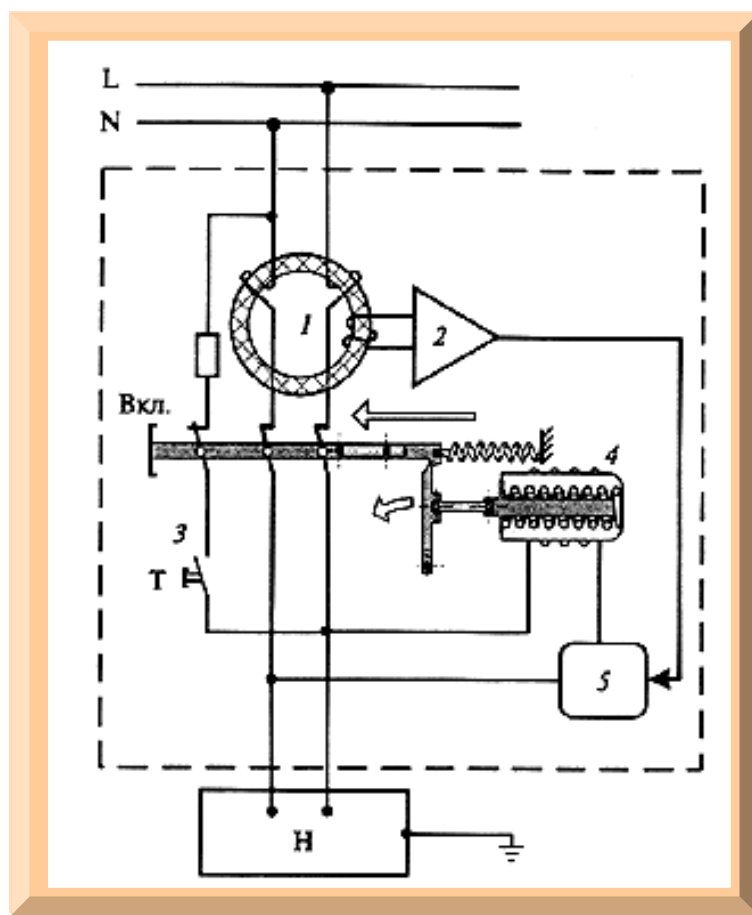


Рис. 54. "Электронное" УЗО с функцией отключения сети:

1 - дифференциальный трансформатор тока; 2 - электронный усилитель; 3 - цепь теста;
4 - удерживающее реле; 5 - блок управления; Н - нагрузка; Т - кнопка "Тест"

Эти устройства функционируют следующим образом.

При возникновении дифференциального тока с модуля защитного отключения, содержащего дифференциальный трансформатор и электронный усилитель, на скомпонованный с модулем автоматический выключатель подается либо электрический сигнал (на модифицированную катушку токовой отсечки), либо с якоря промежуточного реле через поводок осуществляется механическое воздействие на механизм свободного расцепления выключателя. В результате автоматический выключатель срабатывает и отключает защищаемую цепь от сети. При отсутствии напряжения на входных зажимах такого устройства (например, при обрыве нулевого проводника до **УЗО**), во-первых, из-за отсутствия питания не функционирует электронный усилитель, во-вторых, отсутствует энергия, необходимая для срабатывания автоматического выключателя.

Таким образом, в случае обрыва нулевого проводника в питающей сети устройство неработоспособно и не защищает контролируемую цепь. При этом в данном аварийном режиме (при обрыве нулевого проводника) опасность поражения человека электрическим током усугубляется, так как по фазному проводнику через неразомкнутые контакты автоматического выключателя в электроустановку выносятся потенциал. Пользователь, полагая, что в сети напряжения нет, теряет обычную бдительность по отношению к электрическому напряжению и часто предпринимает попытки устранить неисправность и восстановить электропитание - открывает электрический щит, проверяет контакты, - подвергая тем самым свою жизнь смертельной опасности.

Существует класс приборов - **УЗО** со встроенной защитой от сверхтоков (**RCBO**), так называемые "**комбинированные**" **УЗО** (рис. 55).

Практически все фирмы-производители **УЗО** имеют в своей производственной программе **УЗО** со встроенной защитой от сверхтоков.

Как правило, их доля в общем объеме выпускаемых устройств защитного отключения не превышает одного-двух процентов. Это объясняется довольно ограниченной областью их применения: незначительная, неизменяемая нагрузка, автономный электроприемник и т.п.

Дифференциальный выключатель. Дифференциальное устройство постоянно измеряет разницу между величиной тока на входе и выходе. Если эта разница отлична от нуля, значит, есть утечка тока. Когда значение этой утечки достигает уровня пороговой величины устройства, оно срабатывает и отключает цепь.

Существует два вида дифференциальных автоматических выключателей:

- моноблочный дифференциальный автоматический выключатель (рис. 56);
- дифференциальный блок (рис. 57) (добавляется в случае необходимости при монтаже).

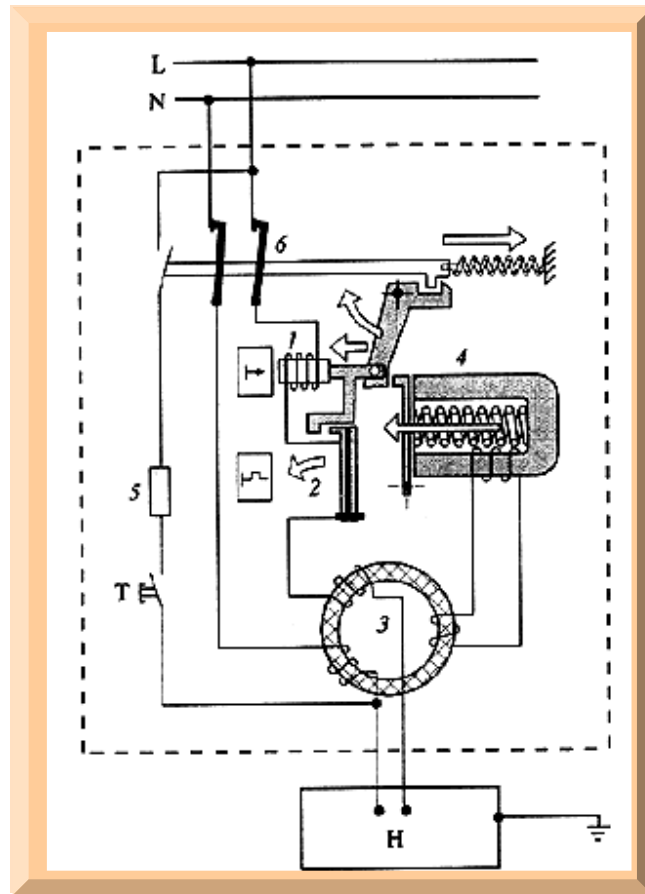


Рис. 55. Устройство УЗО со встроенной защитой от сверхтоков:

- 1 - катушка токовой отсечки; 2 - биметаллическая пластина; 3 - дифференциальный трансформатор тока; 4 - магнитоэлектрический расцепитель, реагирующий на дифференциальный ток; 5 - тестовый резистор; 6 - силовые контакты;
Н - нагрузка; Т - кнопка "Тест"

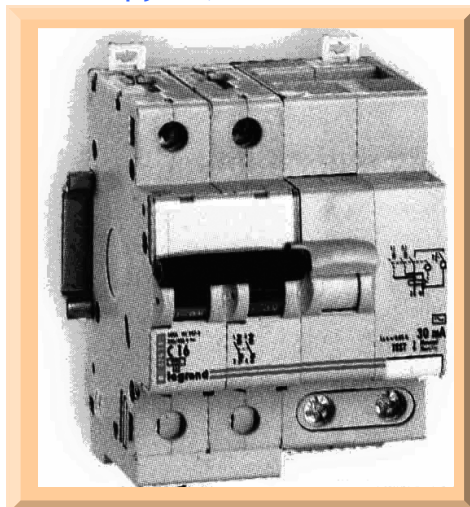


Рис. 56. Моноблочный дифференциальный автоматический выключатель

Дифференциальный выключатель выполняет две функции: обнаружение тока утечки, его измерение и отключение, а также функции обычного выключателя. Характеристики дифференциального выключателя определены стандартами **МЭК 61008-1** и **EN 61008**.

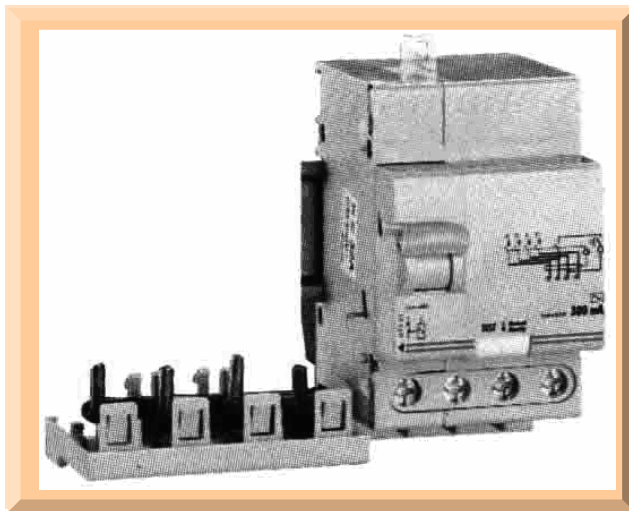


Рис. 57. Дифференциальный блок

Дифференциальный блок выполняет три функции: обнаружение тока утечки, его измерение и отключение, защиту от перегрузки и короткого замыкания цепи, а также функцию обычного выключателя. Характеристики дифференциального выключателя определены стандартами **МЭК 61009-1** и **EN 61009**.

ГЛАВА 9. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ

9.1. Рубильники и переключатели

Рубильники и переключатели (рис. 58) предназначены для неавтоматической коммутации электрической цепи с номинальным напряжением до **660 В** переменного тока частотой **50 и 60 Гц** и **440 В** постоянного тока.

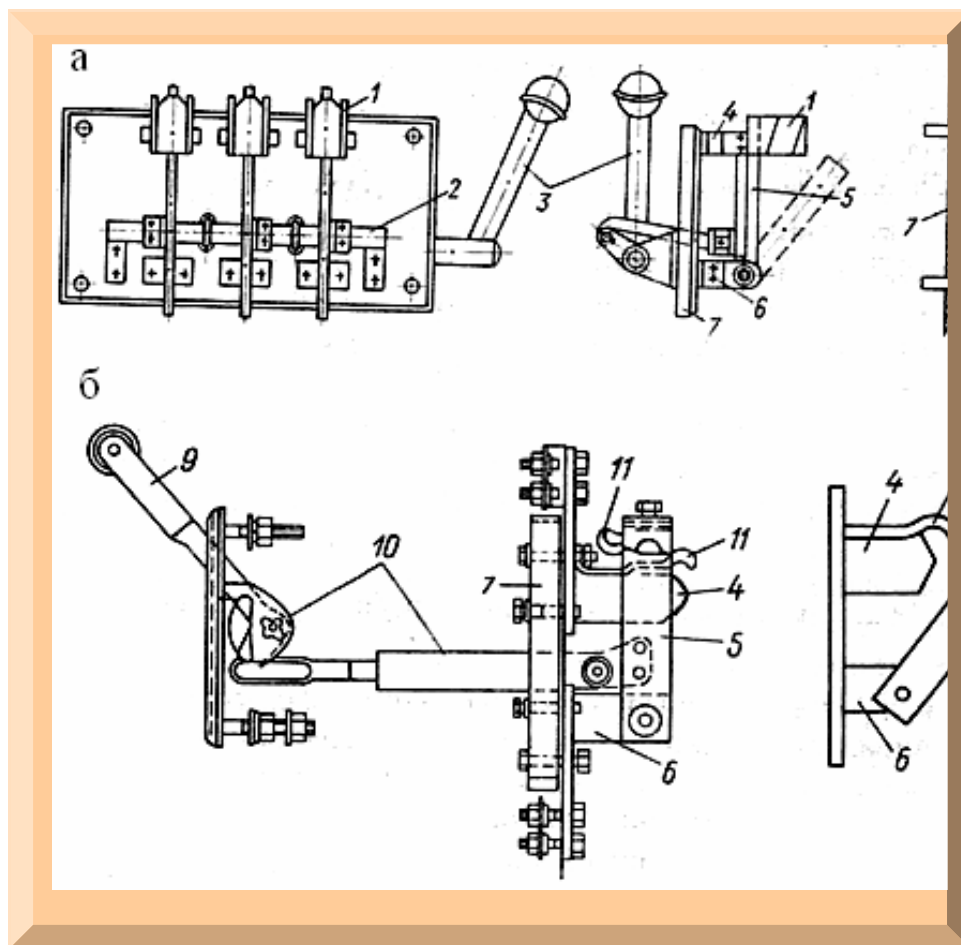


Рис. 58. Устройство рубильников:

а - рубильник с боковой рукояткой; б - рубильник с центральным рычажным приводом

Выключатели, рубильники и переключатели выполняются **одно-, двух- и трехполюсными**. Основными элементами их являются: неподвижные врубные контакты **4**, подвижные контакты **5**, закрепленные шарнирно в других неподвижных контактах **6**, дугогасительное устройство и привод. Монтируются рубильники на

изоляционных деталях – плитах **7**, каркасах, валах и т.д. Конструкция рубильника может выполняться для присоединения проводов сзади и спереди.

Привод может осуществляться при помощи центральной рукоятки, боковой рукоятки **3** через вал **2**, центральной рукоятки **9** через систему рычагов **10**.

9.2. Разъединители многоамперные

Выполняются разъединители как с естественным воздушным охлаждением, так и с водяным. Пример устройства разъединителя с воздушным охлаждением приведен на **рис. 59**.

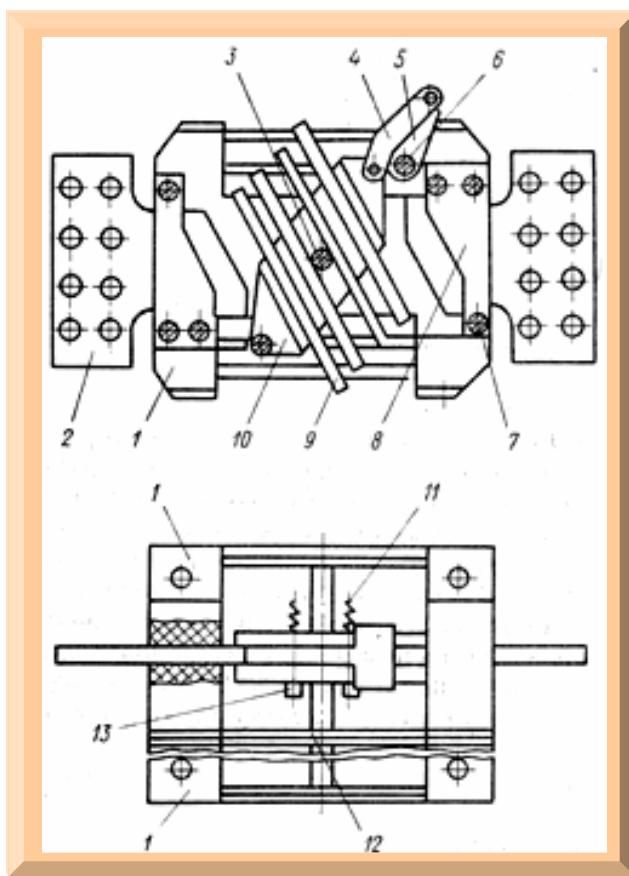


Рис. 59. Разъединители многоамперные

Разъединители серии **PE15** выполняются по модульной конструкции. Модуль рассчитан на ток **6,3 кА** и состоит из двух стоек **1**, неподвижных контактов **2** с выводами, подвижных контактов **9** и вала **6**. Контакты врубные. Неподвижный контакт выполнен из шины и закреплен болтами **7** между изоляторами **8**. Подвижный контакт выполнен в виде четырех пар параллельных пластин, закрепленных в держателе

10 и пазах цилиндра 12, который, вращаясь на оси 3, осуществляет включение и отключение контактов главной цепи. Контактное нажатие обеспечивается пружинами 11, закрепленными винтами 13. Привод двигательный (ручной), осуществляется через вал 6 и рычаги 4 и 5.

Выключатели многоамперные. Выключатель шунтирующий В61-67 предназначен для шунтирования электролизеров при токах до 63 кА. Выключатель однополюсный, смонтирован на электроизоляционной плите и установлен в баке с трансформаторным маслом (эксплуатация в химически активной среде).

Контактная система имеет основные и дугогасительные контакты, которые полностью погружены в масло, защищающее их от коррозии и способствующее гашению дуги. Выключатель имеет систему водяного охлаждения. Она образована каналами и трубками в выводах и неподвижных главных контактах выключателя.

Система водяного охлаждения подобного выключателя показана на [рис. 60](#).

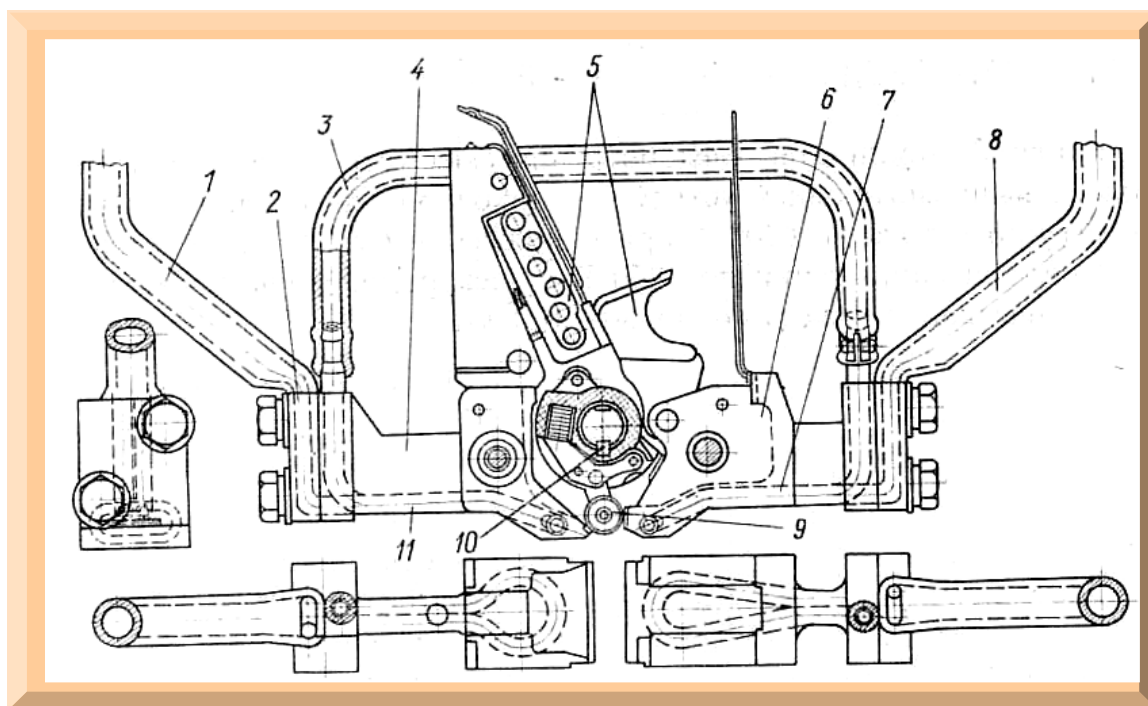


Рис. 60. Выключатель многоамперный

Вода по шинам-трубкам 1 поступает в башмаки 2, а оттуда в неподвижный контакт 4. Она протекает по залитой в тело контакта трубке 11, выходит в изоляционную трубку 3 и по ней поступает во второй неподвижный контакт 6. Там вода протекает по трубке 7 и выходит в полые шины 8, отводящие ток и воду. Здесь 9 — под

вижный (ролики) основной контакт, **5** — дугогасительные контакты, **10** — поворотный вал с кулачками.

9.3. Выключатели и переключатели пакетные

Эти аппараты применяются в качестве коммутационных в цепях напряжением **110 – 380 В (и до 660 В)** и токами до **200 А** частотой **50 и 400 Гц** для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, а также в комплектных устройствах.

Пример устройства пакетного переключателя приведен на **рис. 61.**

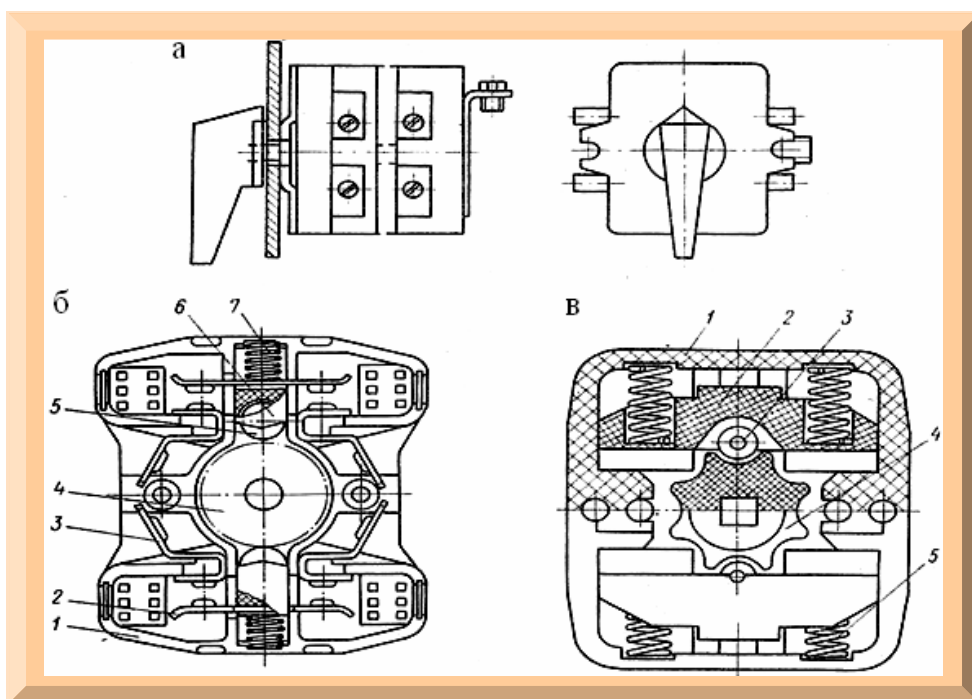


Рис. 61. Выключатели и переключатели пакетные:

а - внешний вид; б - коммутирующее устройство; в - механизм фиксации

Коммутирующее устройство (**рис. 61, б**) имеет один или два независимых контактных элемента, электрически изолированных или соединенных в зависимости от электрической схемы. Оно состоит из корпуса **1**, контактных мостиков **2**, неподвижных контактов **3**, кулачка **4**, вкладышей (роликов) **5**, толкателей **6**, пружин **7**.

Механизм фиксации (**рис. 61, в**) состоит из корпуса **1**, траверс (рычагов) **2**, роликов **3**, звездочки **4**, пружин **5**.

Переключатели собраны на квадратном валу из определенного числа коммутирующих устройств (пакетов), имеют рукоятку и механизмы фиксации ее положения. Поворотом рукоятки переключателя приводятся во вращение вал и кулачки коммутирующих устройств, которые размыкают или замыкают контакты. В зависимости от диаграммы коммутационных положений применяются кулачки различной конфигурации.

ГЛАВА 10. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Предохранители - коммутационные электрические аппараты, предназначенные для отключения защищаемой цепи посредством разрушения специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определенное значение.

Широкое применение предохранителей привело к многообразию их конструкций. Однако все они имеют следующие элементы: корпус, плавкую вставку, контактное присоединительное устройство, дугогасительное устройство или дугогасительную среду.

В большей части конструкций отключение цепи происходит путем расплавления плавкой вставки, нагревающейся непосредственно током защищаемой цепи.

Вставку выполняют в виде пластинки с вырезами (рис. 62), уменьшающими ее сечение на отдельных участках. При перегрузках плавкая вставка плавится в одном самом горячем месте. При коротком замыкании плавкая вставка перегорает одновременно во всех или в нескольких суженых местах.



Рис. 62. Плавкая вставка

Предохранители делятся на два основных вида:

- предохранители низкого напряжения;
- предохранители высокого напряжения.

10.1. Предохранители низкого напряжения

Патрон *предохранителя ПР-2* (рис. 63) представляет собой фибровую трубку **1**, на которую с двух сторон накручены латунные втулки **3**, имеющие прорезь для

плавкой вставки **2**. На втулки накручены латунные колпачки **4**, являющиеся у предохранителей до **60 А** контактными частями патрона. У предохранителей на **100-1000 А** контактными частями являются медные ножи. Для предотвращения поворота ножей предусмотрена подкладная шайба **5**, имеющая паз для ножа. Возникающая при перегорании вставки дуга вызывает сильную газогенерацию из стенок трубки **1**, давление в трубке резко возрастает, что приводит к интенсивному гашению дуги.

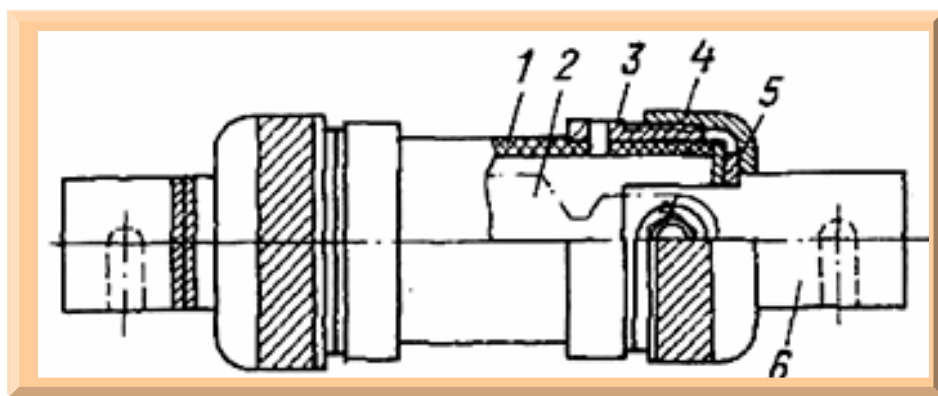


Рис. 63. Предохранитель серии ПР-2

Предохранители серии ПД и ПДС. Защита цепей постоянного тока на напряжение до **350В** и переменного частоты **50 Гц** напряжением до **380В**.

Предохранители серии **ПДС** отличаются от **ПД** (рис. 64) тем, что корпус у них выполнен не из фарфора, а из стеатита. Они состоят из контактной гильзы **9** с фарфоровым или стеатитовым основанием **12** и плавкой вставки. Плавкая вставка закрепляется головкой **2**, которая навинчивается на контактную гильзу. В нее завальцована контактная стойка **10** для внешних присоединений. Контактная гильза изолируется от токоведущей шины гетинаксовой шайбой **11**. Пружинное кольцо **7** предотвращает самоотвинчивание головки. Вставка состоит из полого фарфорового цилиндра **5**, на торцах которого укреплены контактные колпачки **4**. Между ними расположены плавкие вставки **6**, контрольная проволока, связанная с контрольным алюминиевым

глазком. Цилиндр 5 наполнен песком 8. Контрольная проволока перегорает вместе с плавкими вставками.

Гашение дуги осуществляется за счет высокого давления и интенсивного охлаждения в узких каналах наполнителя.

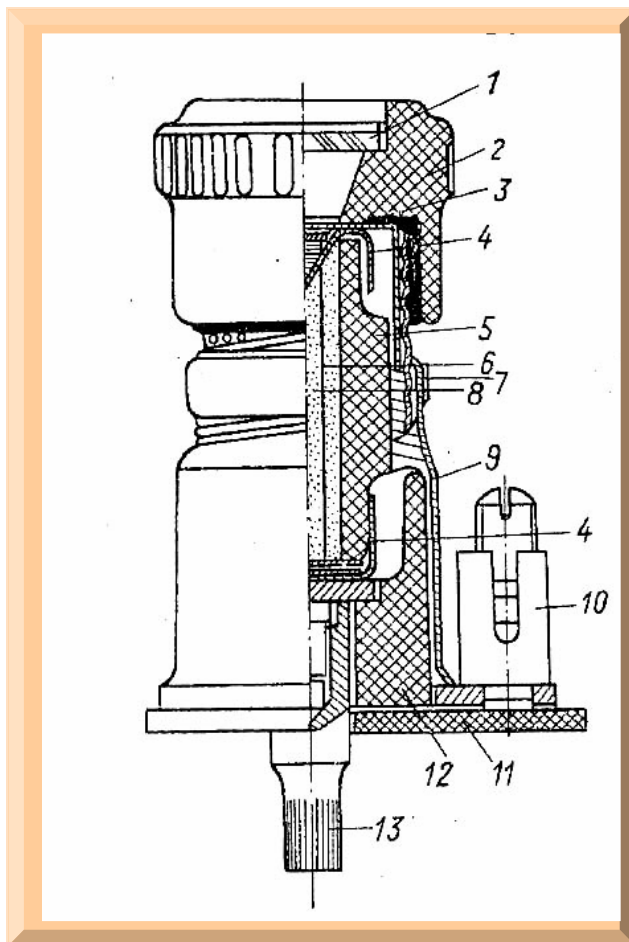


Рис. 64. Предохранитель серии ПД

Предохранители серии ПН-2 используются для защиты силовых цепей до 500 В переменного тока и 440 В постоянного. Корпус 1 (рис. 65) представляет собой глазурованную квадратную снаружи, круглую внутри фарфоровую трубку с четырьмя резьбовыми отверстиями с каждого торца. В трубу введен узел с плавкой вставкой 2, приваренной электроконтактной точечной сваркой к шайбам врубных контактных выводов 3. Контактный узел с каждого торца трубы крепится к крышке 4 винтами. Крышки с асбестовыми прокладками 5 привинчивают к корпусу и герметично закрывают его.

Внутренняя полость трубки заполняется чистым и сухим кварцевым песком. Плавкая вставка выполняется из одной или нескольких параллельных ленточек, что

позволяет снизить сечение плавкой вставки для данного номинального тока, а, следовательно, и количество паров металла в дуге, что облегчает ее гашение.

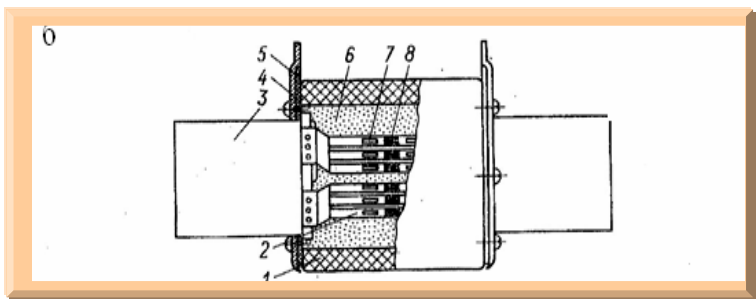


Рис. 65. Предохранитель серии ПН-2

Предохранители ПНБ-2 отличаются от ПН-2 конструкцией плавкой вставки, изготовленной из серебряной ленты и имеющей сечения, рассчитанные в соответствии с требованиями защитной характеристики предохранителей. Предназначены для защиты электрических устройств с полупроводниковыми силовыми вентилями.

10.2. Предохранители высокого напряжения

Предохранители серии ПК (рис. 66) и ПКТ, с мелкозернистым наполнителем. Выполняются на напряжение 3; 6,3; 10 и 35 кВ. Состоят из контактных стоек 1, укрепленных через соответствующие изоляторы 2 на стальном основании 3 и патрона 4. Патрон состоит из изоляционного корпуса 8, армированного по концам латунными колпаками 13 и закрытого герметично с обеих сторон крышками 5. Внутри патрона размещаются плавкие вставки 7.

Весь объем заполнен кварцевым песком 6. Перегорание предохранителя сигнализируется якорем 14, который после перегорания удерживающей его стальной указательной вставки 11 выталкивается пружиной 12.

На малые токи плавкая вставка выполняется в виде намотки из тонких проволок 9 на керамическом сердечнике 10. На большие токи плавкие вставки выполняются в виде отдельных спирально завитых проволок 9 (рис. 73, в). Проволоки медные, посеребренные или константановые.

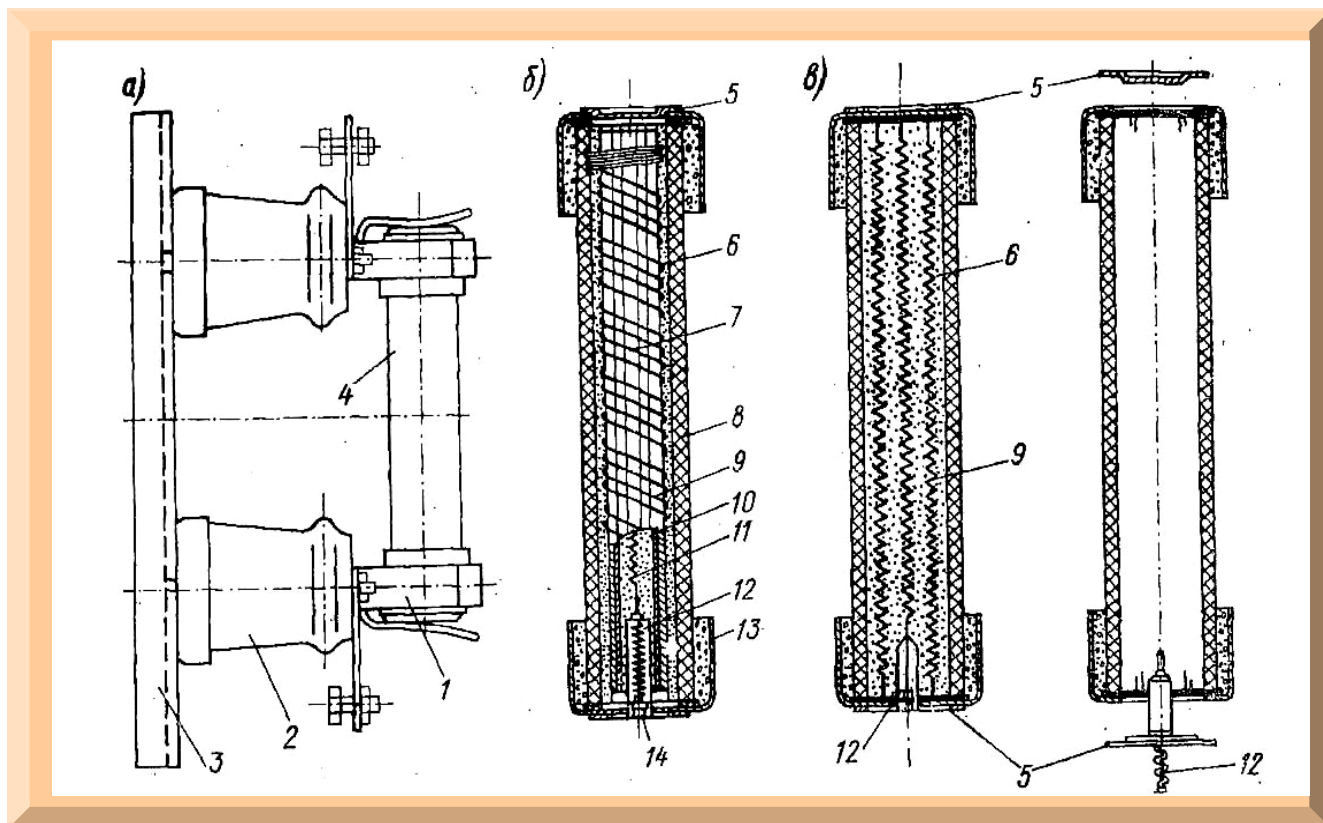


Рис. 66. Предохранители серии ПК:

а - внешний вид; б - устройство плавкой вставки на малые токи; в - устройство плавкой вставки на большие токи

Предохранители с автогазовым, газовым, жидкостным гашением дуги позволяют создать конструкции на напряжение **110 - 220 кВ**. Выполняются с короткой плавкой вставкой (**рис. 67**). Плавкая вставка состоит из медной **4** (токоведущей) и стальной **5** (удерживающей) частей.

После расплавления (перегорания) вставки (сначала медной, затем стальной) дуговой промежуток удлиняется с помощью пружин или давления образующихся газов. Дуга втягивается в дугогасящую или газогенерирующую среду и под действием газового или жидкостного дутья гаснет.

В стреляющем предохранителе (тип ПСН – **рис. 74, а**) вытягивание гибкой связи **3** из патрона осуществляется пружиной ножа, связанного с контактным наконечником **1**. Дуга, втянутая в газогенерирующую трубку **2**, резко повышает давление в трубке и создает весьма интенсивное продольное автодутье. Гибкая связь окончательно выбрасывается из патрона, дуга энергично гасится. Гашение сопровождается выбросом раскаленных газов, световым и звуковым эффектом.

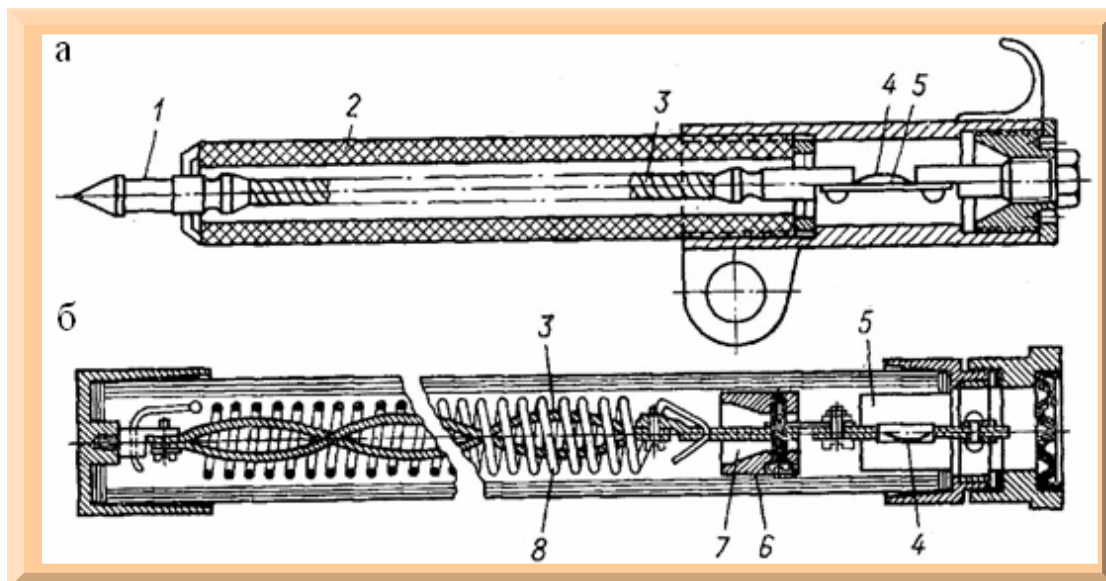


Рис 67. Предохранители:

а - с автогазовым гашением; б - с жидкостным гашением

В жидкостном предохранителе (рис. 67, б) пружина 8 растягивая дуговой промежуток, тянет поршень 6 и проталкивает через отверстия 7 жидкость, заполняющую весь объем под поршнем. Создаваемое интенсивное продольное дутье надежно гасит дугу.

Предохранитель-выключатель (рис. 68) выполняет функции рубильника и предохранителя одновременно.

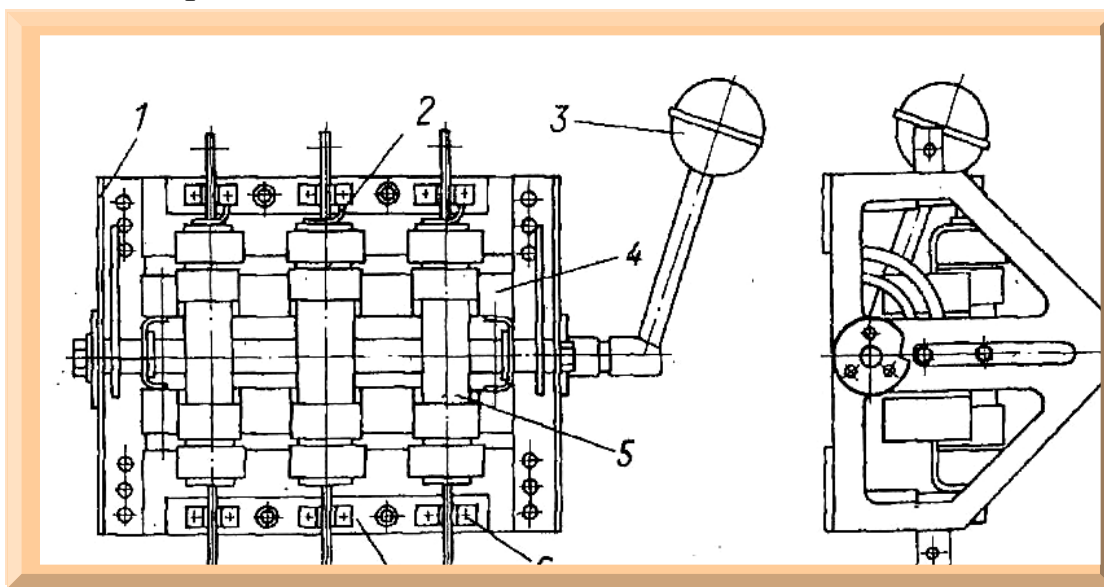


Рис. 68. Предохранитель-выключатель

Он предназначен для ручного включения и отключения цепей под нагрузкой, для защиты при перегрузках и коротких замыканиях.

В стальном каркасе 1 помещается пластмассовая траверса 4, на которой закреплены два или три патрона 5 предохранителя. Двойной разрыв обеспечивается путем

одновременного отключения ножей предохранителя от стоек **6**, установленных на пластмассовых рейках **7**. Подвижные части предохранителя надежно фиксируются в отключенном положении. Рукоятка **3** может быть снята в отключенном положении аппарата, что предотвращает его случайное включение. Съем патрона для замены перегоревшей вставки возможен только в отключенном положении. Для этого достаточно откинуть защелку **2** верхнего замка, несколько наклонить патрон в сторону оператора, а затем потянуть его вверх.

ГЛАВА 11. КОНТАКТОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ

Контакторы - это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

Электромагнитные контакторы получили широкое распространение, они являются основными коммутирующими аппаратами схем автоматизированного электропривода.

Контакторы различаются по роду тока - постоянного, переменного.

11.1. Комбинированные дугогасительные устройства контакторов переменного тока

Для контакторов тяжелого режима работы с частотой включений в час **1200** и более на напряжение до **660 В** широкое распространение получило электромагнитное гашение в камерах с узкими щелями, а также в комбинированных камерах с узкими зигзагообразными и другими щелями в сочетании с пламегасительными решетками, где также исключается выброс дуги и ее пламени за пределы камеры.

Для большинства контакторов категорий применения **АС-1, АС-2 и АС-3** характерно использование двукратного разрыва на фазу (мостиковый контакт) в закрытой комбинированной камере (рис. 69). Гашение дуги здесь также основано на использовании околоскатных явлений при переходе тока через нуль. Однако для повышения надежности гашения, а также для обеспечения гашения при напряжениях до **660 В** в дополнение к двукратному разрыву используется еще ряд средств:

- небольшое поперечное магнитное поле, создаваемое в зоне контактов при помощи скоб **4**, охватывающих контакты, витков **8** с магнитопроводом, вкладышей **7** и т.п.;
- дополнительные катоды, образуемые решеткой **6**, скобой **4** и т.д.;
- струя газа, создаваемая движением подвижной системы контактора и обдувающая дугу на контактах.

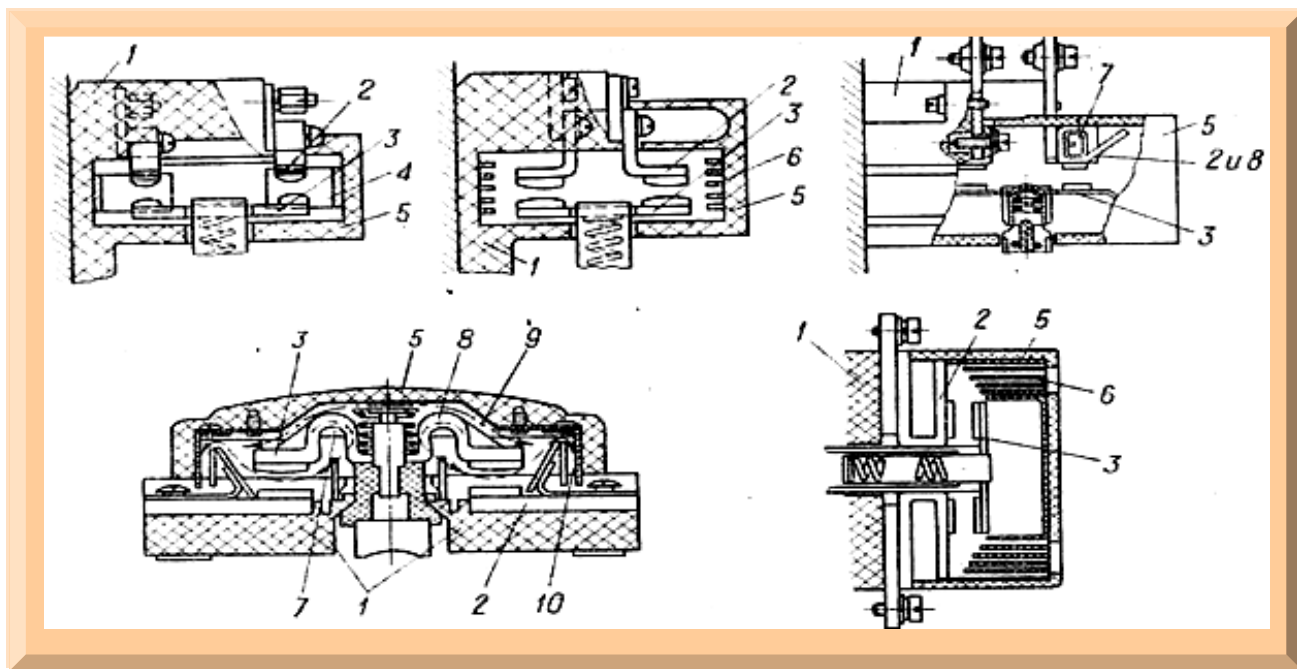


Рис. 69. Комбинированные дугогасительные устройства контакторов переменного тока:

1 - основание камеры; 2 - неподвижные контакты; 3 - мостиковый контакт; 4 - дугогасительная скоба; 5 - крышка; 6 - дугогасительная решетка; 7 - стальной вкладыш; 8 - дугогасительный виток; 9 - направление выталкиваемых из камеры газов, обдувающих дугу; 10 - дугогасительный канал

11.2. Контакторы переменного тока вакуумные

Контакторы вакуумные обеспечивают высокую коммутационную способность. Например, у контактора на номинальный ток **400 А** при напряжениях **660–1140 В** соответственно ток включения **8800 – 6500 А**, ток отключения **4800 – 3450 А**, ток динамической стойкости **10000 А**, термическая стойкость **8000 А**. Гашение дуги происходит без какого-либо эффекта при первом прохождении тока через нуль. Эти контакторы разработаны в России на токи до **630 А**, напряжение до **1140 В** частотой **50 и 60 Гц**, на частоту включений до **1200 вкл./ч**. Устройство их покажем на примере контакторов серии **КТ12Р (рис. 70)**.

Контактор выполнен блочной конструкции и состоит из пластмассового корпуса **2**, на котором закреплены блок катушек электромагнитного привода **1**, блоки вакуумных дугогасительных камер **3** (размещены за катушками) и блоки вспомогательных контактов. В положении «Отключено» (контакты разомкнуты, зазор контактов **1,2–1,5 мм**) подвижные части контактора фиксируются пружиной.

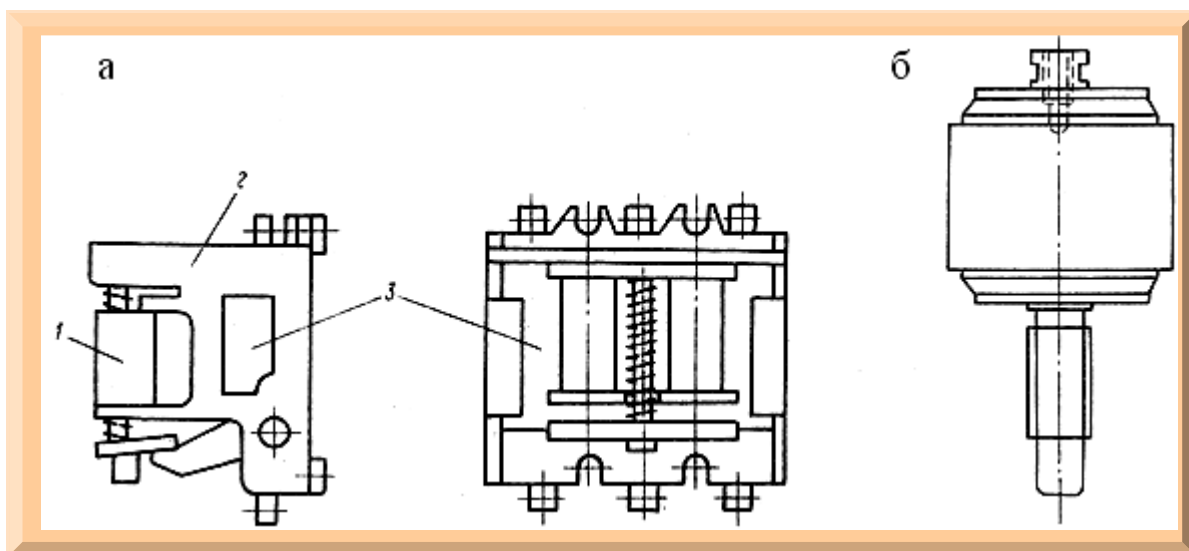


Рис. 70. Контакторы переменного тока вакуумные: а - устройство; б - внешний вид

Включение осуществляется, как и у других контакторов, подачей напряжения на приводной электромагнит, который посредством своего якоря и вала сжимает пружину и «освобождает» контакты, позволяя им замкнуться под действием разности давлений внешней среды и вакуума в камере. Перемещение подвижного контакта в камере обеспечивается сильфоном, на котором он укреплен

11.3. Пускатели магнитные

В отличие от контакторов магнитные пускатели оснащены электротепловыми реле. Поэтому они используются для прямого пуска, остановки и защиты короткозамкнутых асинхронных двигателей (прямой пуск – пуск без введения в цепь двигателя резисторов).

В пускателях используются контакторы категорий применения **АС-2, АС-3**. В технических данных указывается не только номинальный ток пускателя, но и мощность электродвигателя, с которым он может работать при разных напряжениях.

Магнитный пускатель (**рис. 71**) – относительно простое комплектное устройство, содержащее один (неревверсивный пускатель) или два (реверсивный пускатель) контактора К, электротепловые реле **КК1, КК2** (два или три) и кнопки управления («Пуск», «Стоп»). Контакторами производится коммутация силовой цепи. Тепловые реле осуществляют защиту от перегрузок и «потери фазы». Аппараты устанавливаются на плите или раме (открытое исполнение) или размещаются в ящике (закрытое исполнение).

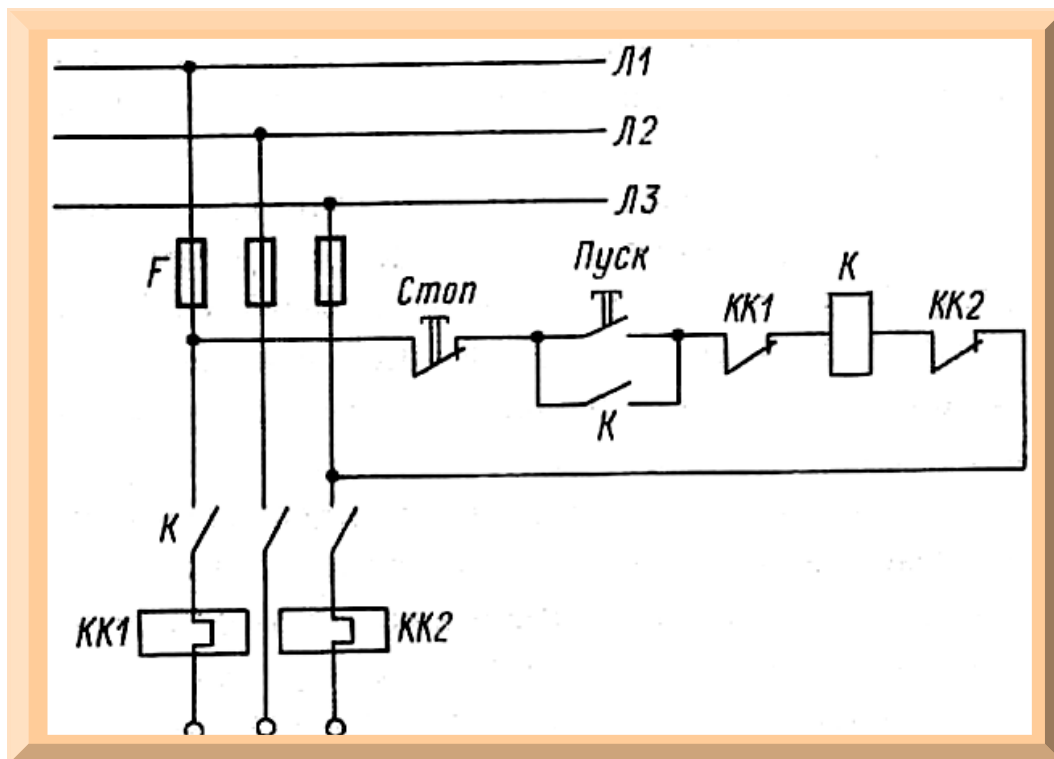


Рис. 71. Принципиальная схема магнитного пускателя

Пускатели главным образом предназначены для применения в стационарных установках дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до **380 и 660 В** переменного тока частотой **50 Гц**. При наличии тепловых реле пускатели осуществляют защиту управляемых электродвигателей от перегрузки недопустимой продолжительности. Пускатели с ограничителями перенапряжений пригодны для работы в системах управления с применением полупроводниковой техники. Пускатели пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники при шунтировании включающей катушки помехоподавляющим устройством или при тиристорном управлении.

ГЛАВА 12. АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аппараты управления - устройства, предназначенные для выполнения переключений в цепях управления электрических аппаратов переменного и постоянного токов.

Основные группы аппаратов управления:

- кнопочные выключатели;
- универсальные выключатели и переключатели;
- командоконтроллеры;
- путевые выключатели и переключатели;
- конечные выключатели и переключатели.

12.1. Универсальные переключатели

Универсальные переключатели (рис. 72) предназначены для ручной одновременной коммутации нескольких цепей управления.

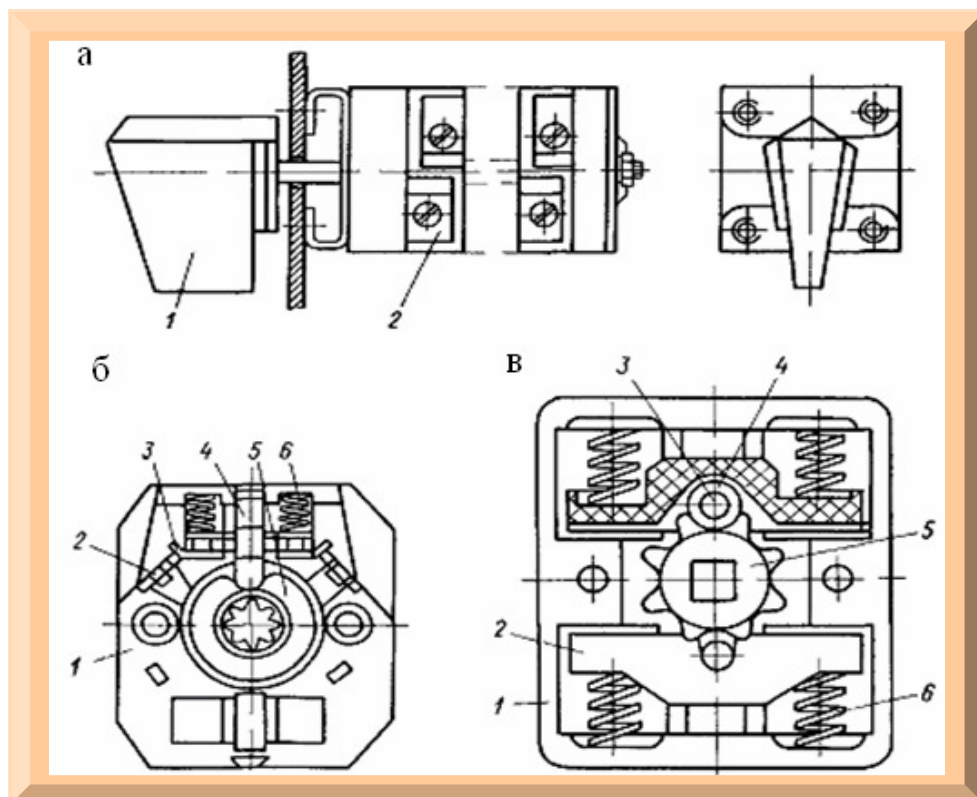


Рис. 72. Универсальный переключатель:

а - общий вид; б - блок коммутирующего устройства; в - блок механизма фиксации

Контакты их допускают длительную нагрузку до 20А. Рукоятка имеет до шести и более фиксированных положений с фиксацией положения или самовозвратом после отпуска рукоятки. Конструкции универсальных переключателей многообразны.

12.2. Командоконтроллеры

Командоконтроллеры применяются для производства переключений в цепях управления сложных схем автоматизированного электропривода при большой частоте переключений, и когда требуется строгое чередование последовательности действий отдельных механизмов.

Командоконтроллер (**рис. 73**) состоит из барабана, контактной рейки и плиты (основания), заключенных в защитную оболочку.

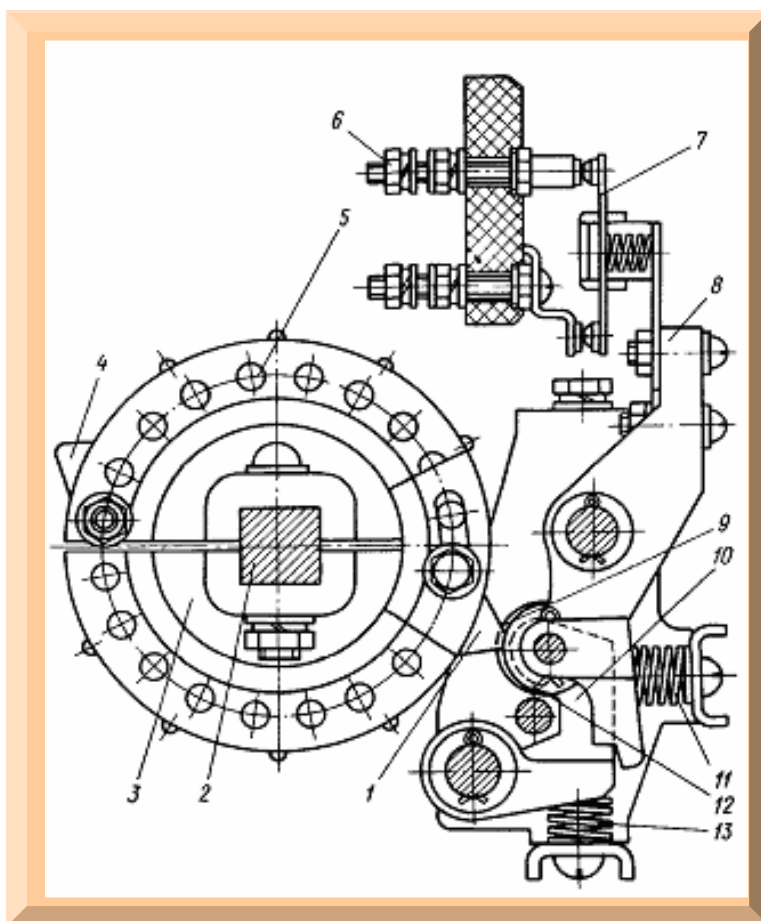


Рис. 73. Контактная система командоконтроллера

Барабан представляет собой центральный вал 2 с набором переключающих шайб 3, на которых устанавливаются включающие 1 и отключающие 4 кулачки. Положение кулачков на шайбе и относительно друг друга регулируется перестановкой

их в отверстиях 5. При вращении барабана включающий кулачок, достигнув ролика 12 и нажимая на него, поворачивает палец 8 с контактным мостиком 7 и замыкает цепь (токопроводы 6). Контактная система соответствующими рычагами ставится на защелку. При дальнейшем вращении барабана отключающий кулачок подходит к ролику 9 и, нажимая на него, освобождает контактный палец от защелки 10 (пружина защелки 13). Под действием пружины 11 происходит быстрое размыкание контактов и возврат их в исходное положение. Командоконтроллер готов к следующему циклу работы.

12.3. Путьевые и конечные выключатели

Путьевые и конечные выключатели осуществляют переключения в цепях управления в зависимости от пути (угла поворота), проходимого рабочим механизмом или его отдельными элементами. Простейшая схема устройства с путевым выключателем показана на **рис. 74**.

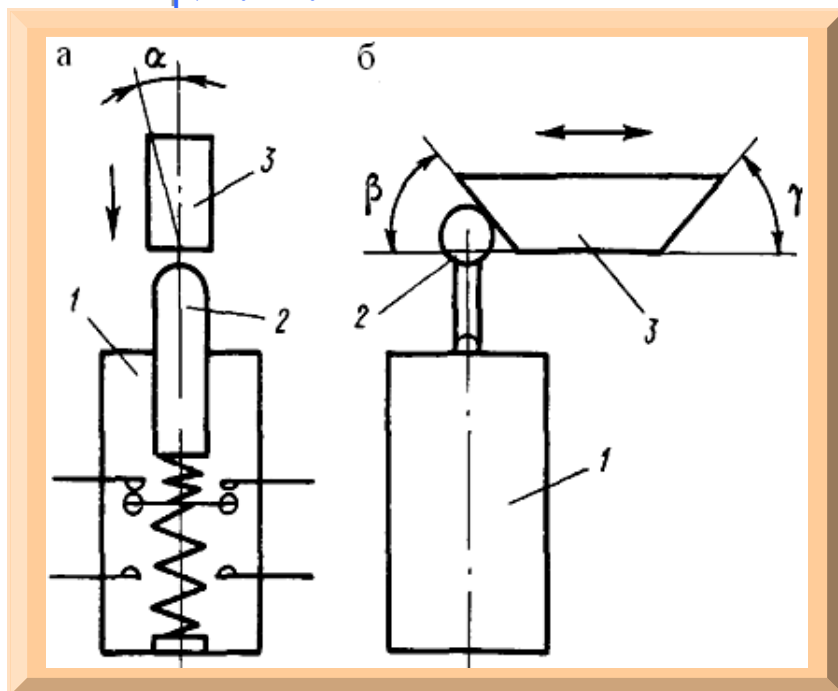


Рис. 74. Схема устройства с конечным (путевым) выключателем: а - толкающего типа; б - проходного типа: 1 - выключатели, 2 - кинематические схемы передачи движения, 3 - упоры механизма; α , β , γ - допустимые углы отклонения, набегания и сбегаания. Стрелками указано направление движения механизма.

Из рисунка видно, что основными недостатками путевых выключателей являются механические воздействия механизма и наличие кинематических схем передачи воздействия механизма на контактную систему.

Выключатели на магнитоуправляемых контактах (**МК**) (**рис. 75**) не имеют указанных недостатков благодаря отсутствию каких-либо механических передач. Постоянный магнит **1** (или электромагнит), связанный с механизмом (стрелками показано направление его перемещения), приводит к срабатыванию магнитоуправляемого контакта **2** в зависимости от положения механизма. Полюсные башмаки **3** и **4** служат для повышения точности координат механизма при срабатывании **МК**.

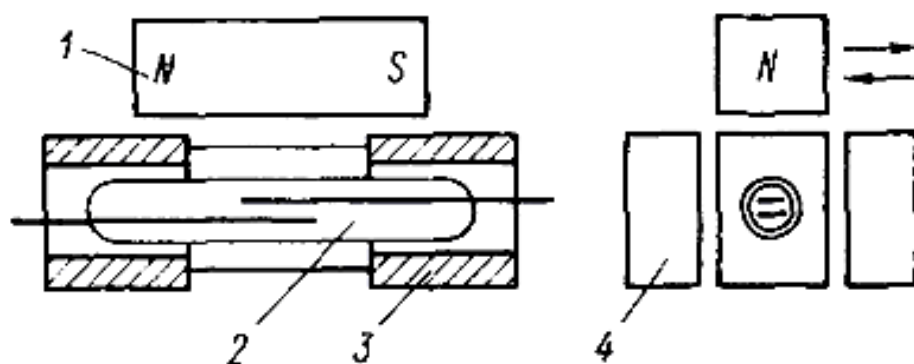


Рис. 75. Схема путевого выключателя с применением МК

12.4. Бесконтактные путевые выключатели

В щели корпуса **1** выключателя (**рис. 76**) размещается связанный с механизмом непрозрачный экран **3** (управляющий элемент) с прорезями (окнами). С одной стороны щели устанавливается втулка **2** со светодиодами, с другой – втулка **4** с фотодиодами и соответствующими диафрагмами **В1**, **В2** и **В3**. При движении экрана через окна в определенный момент засвечивается фотодиод. Возникший в цепи фотодиода ток «обрабатывается» соответствующей полупроводниковой схемой, и в систему управления механизма выдается требуемый сигнал

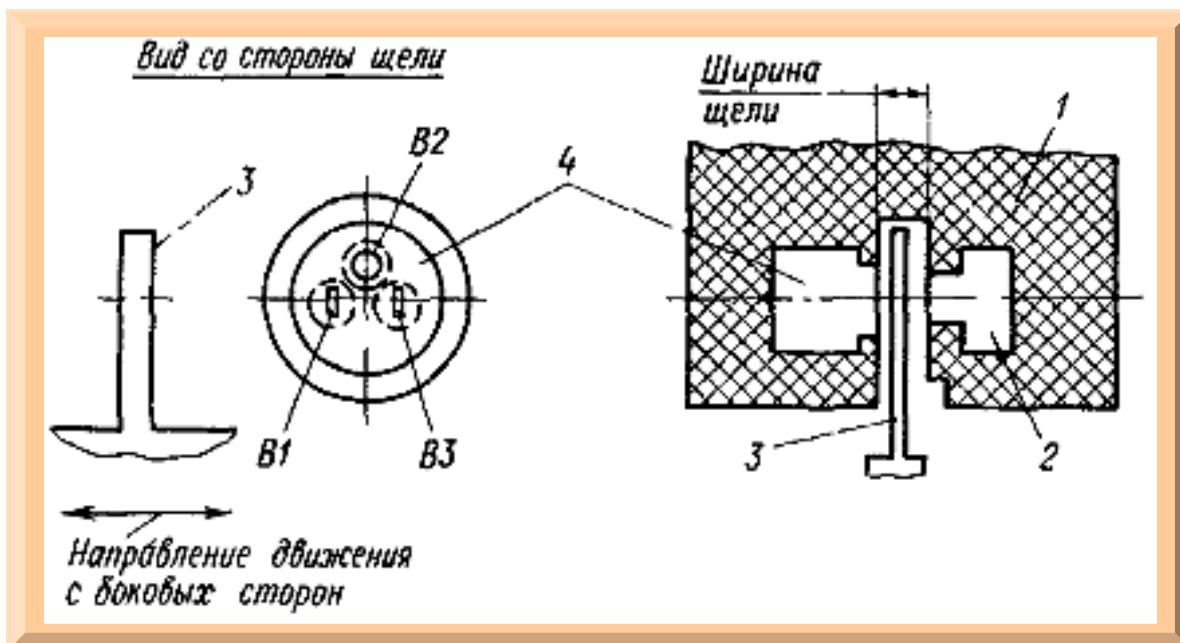


Рис. 76. Схема бесконтактного управляющего устройства путевого выключателя

12.5. Кнопочные выключатели

Кнопочные выключатели и переключатели служат:

- для коммутации электрических цепей освещения и бытовых приборов и предназначены для установки стационарно или в подвесном состоянии;
- для выполнения функций включения-выключения подачи электроэнергии;
- для переключения режимов работы разнообразных бытовых электроприборов;
- для создания оптимального уровня освещения.

Выключатели и переключатели различаются по числу полюсов (1 или 2), исполнению (защищенные, герметические, в металлическом или пластмассовом корпусе), назначению (для открытой проводки и для утопленной установки при скрытой проводке).

Они бывают различной конструкции: поворотные, перекидные, одно- и двухклавишные, с тяговым шнурком. Имеющийся в продаже большой диапазон выключателей и переключателей, отличающихся конструктивными особенностями, а также разнообразное внешнее и цветовое оформление позволяет осуществить их подбор в

соответствии с назначением, интерьером помещения, обеспечивая вместе с тем удобство и надежность при эксплуатации.

Наибольший нормальный ток выключателей с обыкновенными контактами составляет **6 А**, с металлокерамическими контактами — **10 А**.

Место установки выключателей зависит от их конструкции и характера помещения. Выключатели и переключатели для общего освещения устанавливают в доступных местах, обычно на стенах помещений, сбоку от дверных проемов со стороны дверной ручки на высоте не более **1,5 м**.

Выключатели для светильников, установленных в сырых и особо сырых помещениях (в том числе и санузлах), рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями среды. Выключатели для светильников, установленных в кладовых, вентиляционных камерах и других нормально запираемых помещениях, как правило, устанавливают перед входом в эти помещения.

В пожароопасных помещениях предусматривается установка выключателей, переключателей пыленепроницаемого исполнения, а при наружных установках — закрытого исполнения. Во взрывоопасных помещениях выключатели необходимо устанавливать вне этих помещений.

Выключатель, установленный в основание настольной лампы
(рис. 77).

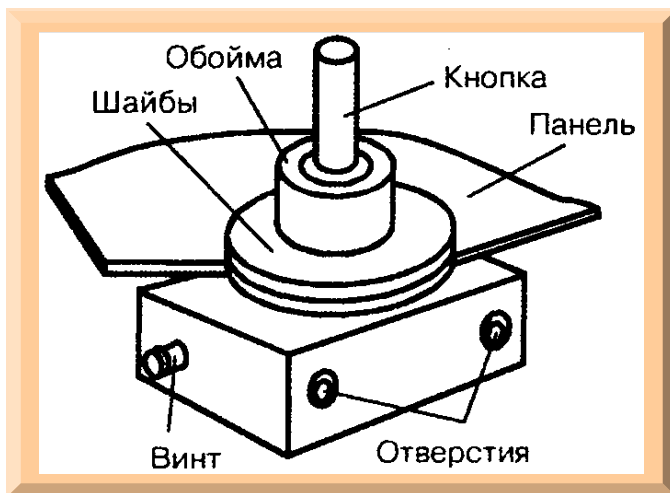


Рис. 77. Выключатель, установленный в основание настольной лампы

Цилиндрическую часть выключателя пропускают сквозь отверстие в панели и, навинчивая обойму, зажимают между шайбами. Защищенные концы проводов вводят в отверстия в корпусе выключателя и зажимают винтами (на рис. 84 виден торец только одного винта).

Напольные выключатели с ножным управлением (используются для торшеров и некоторых бытовых приборов). В основание корпуса ножного выключателя (рис. 78) вставлен выключатель. Провода закреплены скобками. В крышку вставлена нажимная кнопка.

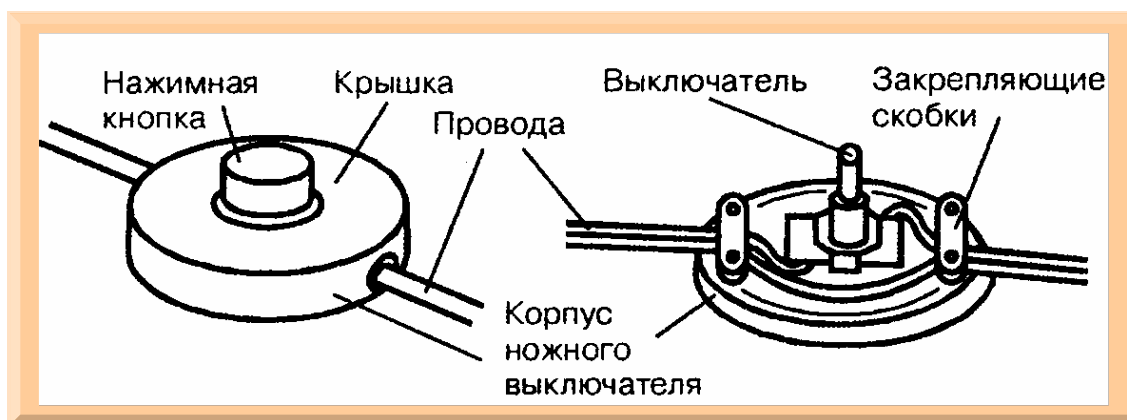


Рис. 78. Напольный выключатель с ножным управлением

Применяются для дистанционного управления электрическими аппаратами с цепями управления до **220 В**.

Несколько кнопок, установленных на общей панели или общем кожухе образуют кнопочный мост.

Выключатель с кнопочным приводом (рис. 79). В позиции **1** выключатель отключен. Позиция **2** на рисунке показывает, как, благодаря нажатию на кнопку, поворачивается вокруг оси **О** с помощью толкателя нож, соединяющий выводы, к которым присоединены электрические провода. В позиции **3** кнопка уже отпущена, но нож остался во включенном положении, пружина растянута. Рисунок, изображенный на позиции **4**, поясняет процесс отключения: благодаря повторному нажатию на кнопку, поворачивают нож вокруг оси в противоположном от первоначального направления и выключатель отключается.

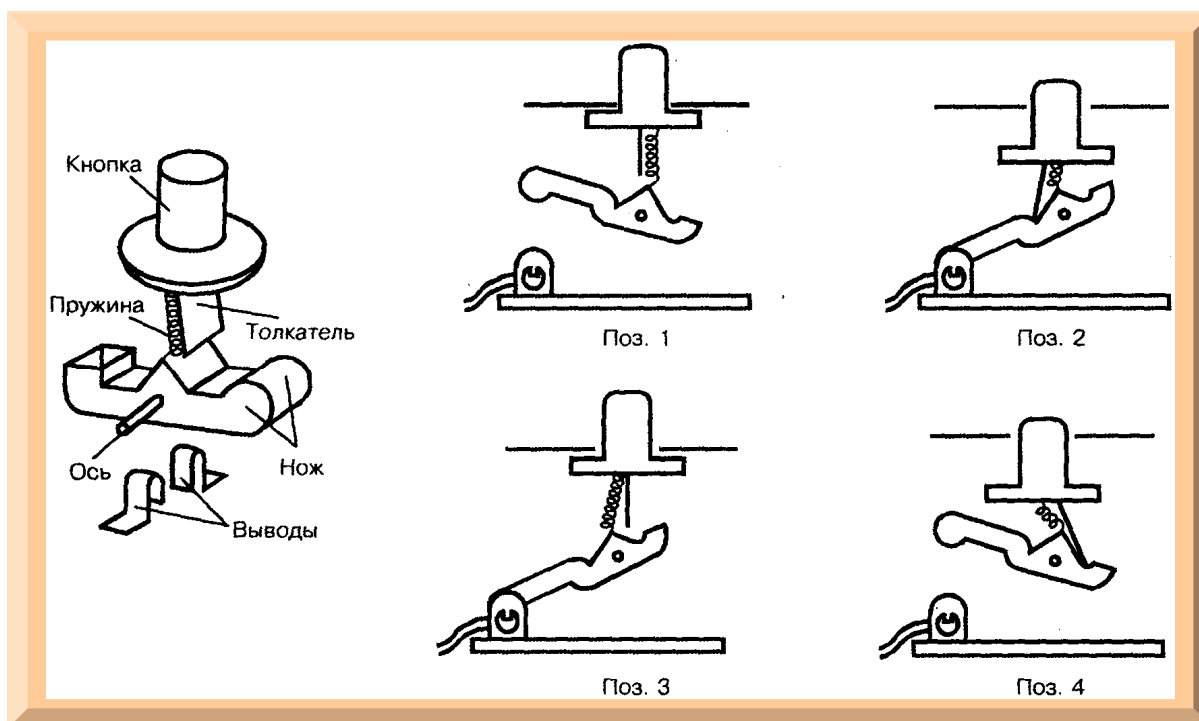


Рис. 79. Выключатель с кнопочным приводом

ГЛАВА 13. АППАРАТЫ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ КОНТАКТАМИ

Основные виды аппаратов с жидкометаллическими контактами **ЖМК**:

- разборные контактные соединения;
- предохранитель жидкометаллический самовосстанавливающийся;
- реостаты с плавным изменением сопротивления;
- разъединители;
- контакторы;
- магнитогиродинамические реле;
- коммутационные устройства «режущего» типа;
- коммутационные устройства «пережимного» типа

Разборные контактные соединения. Переходная пластина (прокладка), располагаемая между контактирующими элементами, представляет собой легкодеформирующуюся по объёму металлическую (медную) фольгу, покрытую с каждой стороны легкоплавким составом (температура плавления 50° - 75°). При сборке контактного соединения фольга за счёт сжатия деформируется. При прохождении тока покрытие пластины вследствие нагрева плавится. В результате деформации и расплавления покрытия происходит полная или частичная заполнение зазоров между микронеровностями контактирующих поверхностей. Физическая площадь контактирования существенно увеличивается (в пределах до 100% рабочей поверхности контакта). Тем самым уменьшается переходное сопротивление и значительно повышается его стабильность.

Жидкометаллический самовосстанавливающийся предохранитель. Это устройство (рис. 80), которое состоит из электроизоляционной трубки с капиллярным отверстием, заполненным жидким металлом. Капилляр с жидким металлом закрыт герметично и имеет специальное демпфирующее устройство. При протекании через капилляр тока определённого значения металл в нём испаряется, образуется паровая пробка, электрическая цепь размыкается. Через некоторое время пары металла конденсируются и цепь восстанавливается.

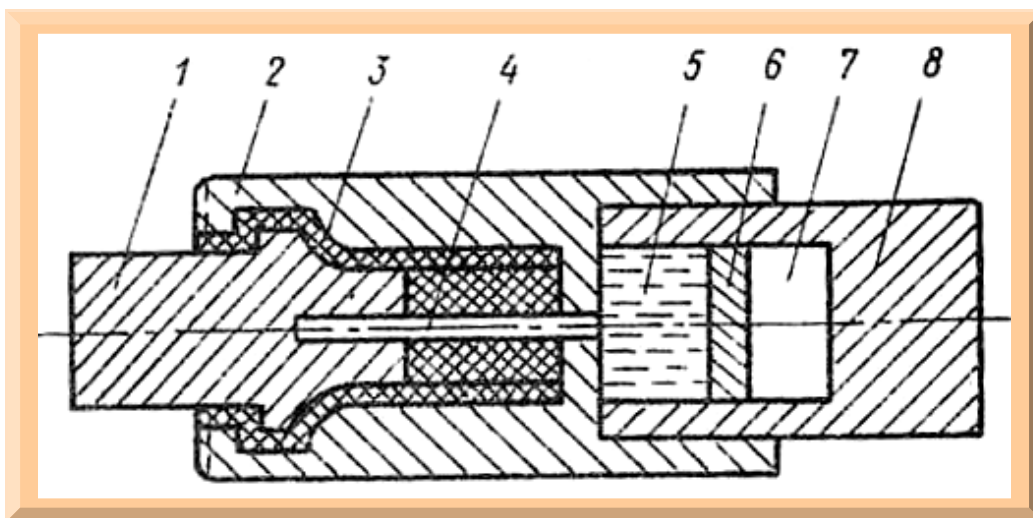


Рис. 80. Предохранитель жидкометаллический самовосстанавливающийся:

1, 8 - соединительные зажимы; 2 - металлический корпус; 3 - керамический слой электрической изоляции; 4 - втулка с капиллярным отверстием; 5 - жидкий металл; 6, 7 - демпфер (поршень и объем сжатого газа)

Такие предохранители включаются последовательно с выключателем, который отключает цепь после того, как предохранитель её разомкнёт. Совместная работа обоих аппаратов строго синхронизирована с учётом того, что восстановление электрической проводимости предохранителя составляет **5-6 мс**.

Реостат с плавным изменением сопротивления. На изоляционной оси **3** (рис. **81**) закреплены резисторы **2**, выполненные в виде разомкнутых колец, которые соединены между собой электрически с помощью перемычки **1**. Нижние части колец погружены в ванны **5** и **8** с ртутью, к ваннам присоединены токоподводы **6** и **7**. При повороте оси (штурвалом **4**) изменяется длина пути тока по кольцам, а, следовательно, изменяется и сопротивление реостата.

Разъединитель многоамперный. Конструкция этого разъединителя разработана в МЭИ и приведена на **рис. 82**. В качестве жидкого металла в нем используется тройная эвтектика гелия, индия и олова. Аппарат состоит из соосно расположенных токоподводов **1** и **7**. Внутри токоподвода **1** имеется полость, в которой расположен подвижный контакт, состоящий из ферромагнитного плунжера **2**, на котором закреплены концентрические трубки **4**.

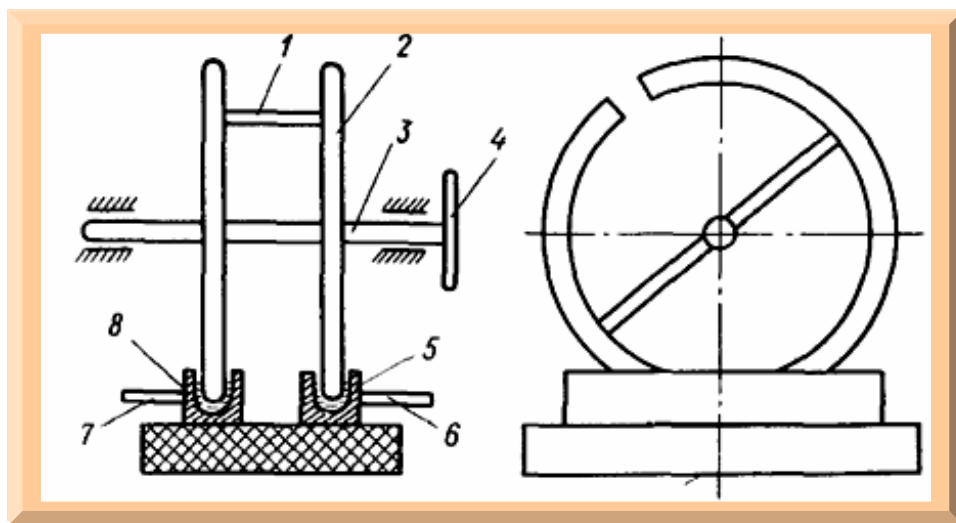


Рис. 81. Реостат с плавным изменением сопротивления

В зазорах между трубками и в зазоре между подвижным контактом и токоподводом **1** размещен жидкий металл **3**. В токоподводе **7** закреплен неподвижный контакт **6**, который также выполнен в виде концентрических трубок с жидким металлом между ними. В качестве изолятора применена стеклянная трубка **5**. Коммутация осуществляется воздействием внешнего магнитного поля на ферромагнитный плунжер.

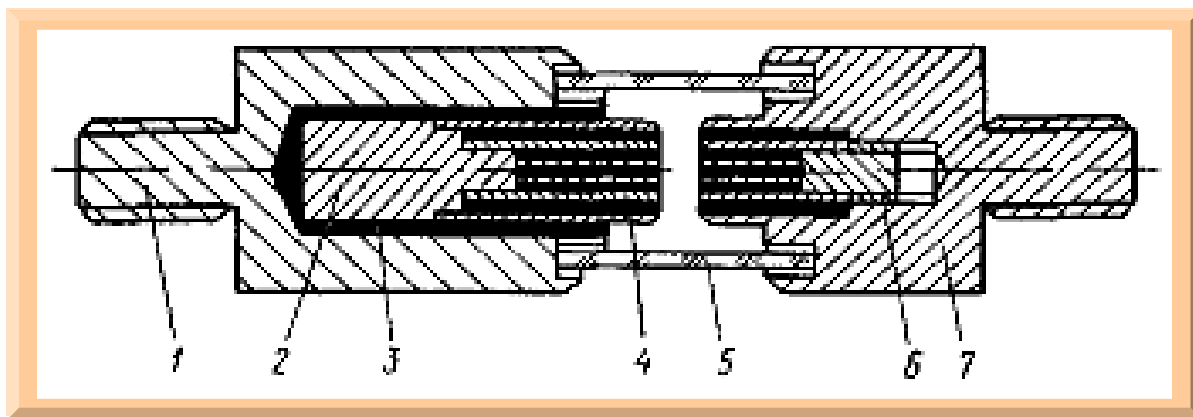


Рис. 82. Разъединитель многоамперный

Разъединитель для подвода тока к деталям, не допускающим какого бы то ни было механического воздействия, состоит из корпуса **2** (рис. 83) с внутренней полостью **4**. Деталь **11**, к которой подводится ток, может иметь как цилиндрическую, так и прямоугольную форму. Уплотнение **12** выполнено из эластичного материала с внутренней полостью **13**. Шина **3** предназначена для подвода тока. На корпусе за

креплены сифоны 1, 7 и 9. Сифон 9 соединен через канал 10 с внутренней полостью уплотнения 12. Жидкий металл 6 заливается в сифон 7 и покрывается защитной жидкостью 5. На сифоне 7 закреплен регулировочный винт 8, служащий для обеспечения очередности операций — герметизации детали 11 по электрическому ее присоединению. Сифон 1 служит для компенсации давления в полости 4.

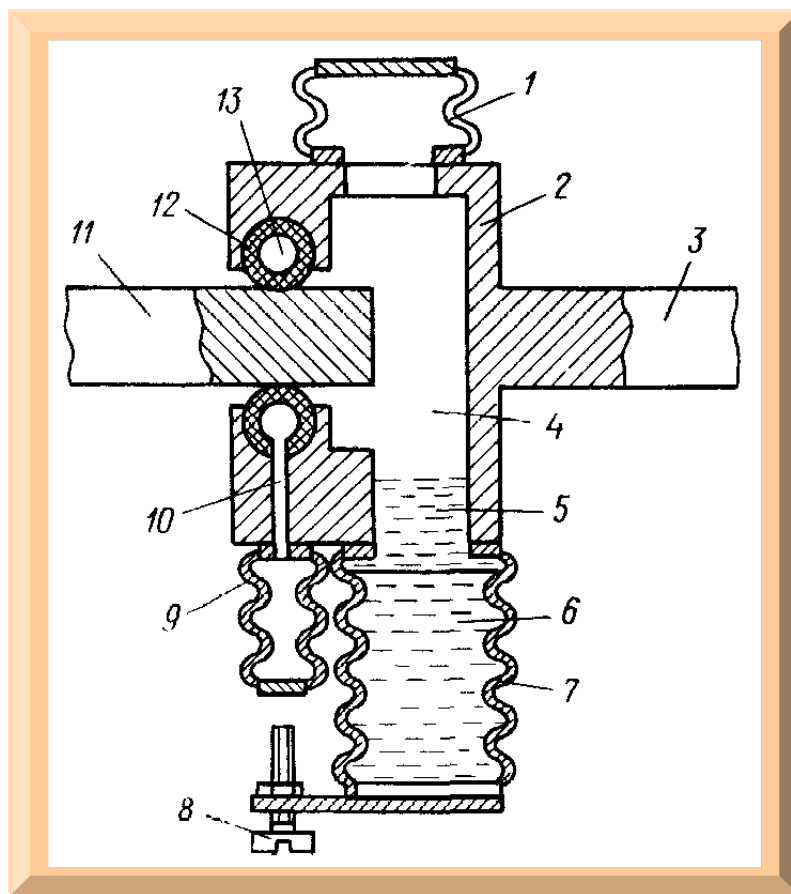


Рис. 83. Разъединитель для подвода тока к деталям, не допускающим какого бы то ни было механического воздействия

После ввода детали 11 через уплотнение 12 в полость 4 сжимается сифон 7. При этом происходит герметизация детали 11, а затем осуществляется электрический контакт через жидкий металл. Приводное устройство ставится на защелку. Цепь готова для включения тока, отключение цепи происходит в обратном порядке. Цепь обесточивается, снимается защелка, сифоны 7 и 9 приходят в исходное положение, деталь 11 может быть отведена.

Электромагнитный ртутный контактор. В корпус 1 (рис. 84), разделенный изоляционной перегородкой 2, заливается жидкий металл 3, на поверхности которого плавают полые ферромагнитные плунжеры 4. При подаче напряжения на

катушку **5** плунжеры **4** погружаются в жидкий металл, который через отверстие **6** замыкает электрическую цепь. Разрыв цепи происходит при снятии напряжения с катушки. Поскольку разрыв происходит по жидкому металлу, то обеспечивается высокая эрозионная стойкость контакта.

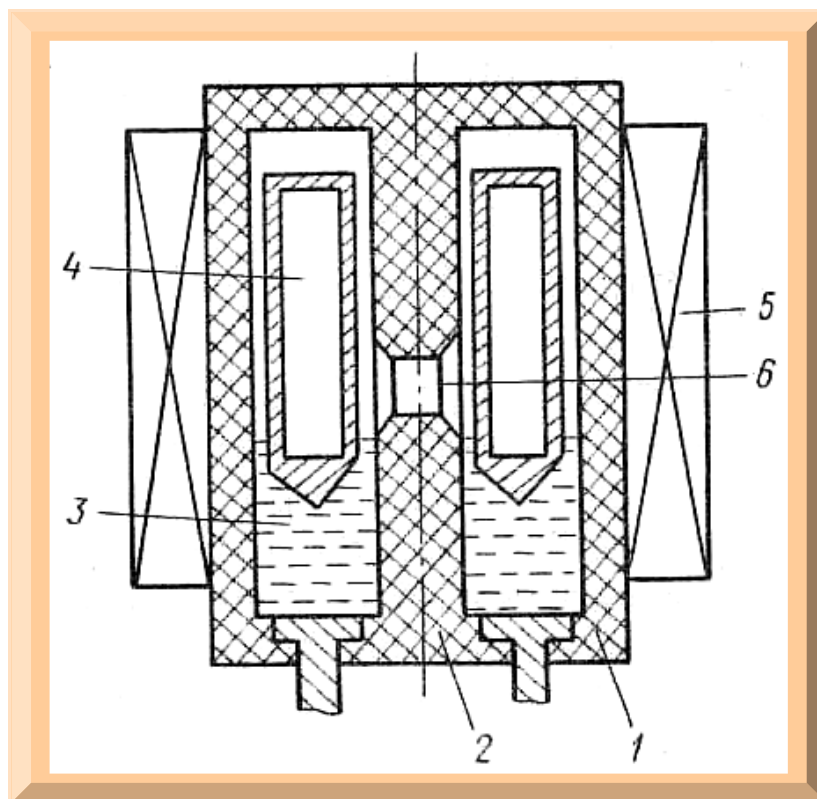


Рис. 84. Электромагнитный ртутный контактор

Коммутационное устройств «режущего» типа изображен на **рис. 85**. Электроды **1** и **6** размещены в углублениях изоляционных пластин **3** и **5**, между которыми расположена изоляционная пластина **4** с отверстием **2**. Жидкий металл заполняет углубления в пластинах **3** и **5** и отверстие **2**. Когда отверстие **2** расположено между углублениями пластин **3** и **5**, цепь электродов замкнута. При перемещении пластины **4** в крайнее правое (левое) положение отверстие с заполняющим его металлом находится между изоляционными пластинами, электрическая цепь разрывается.

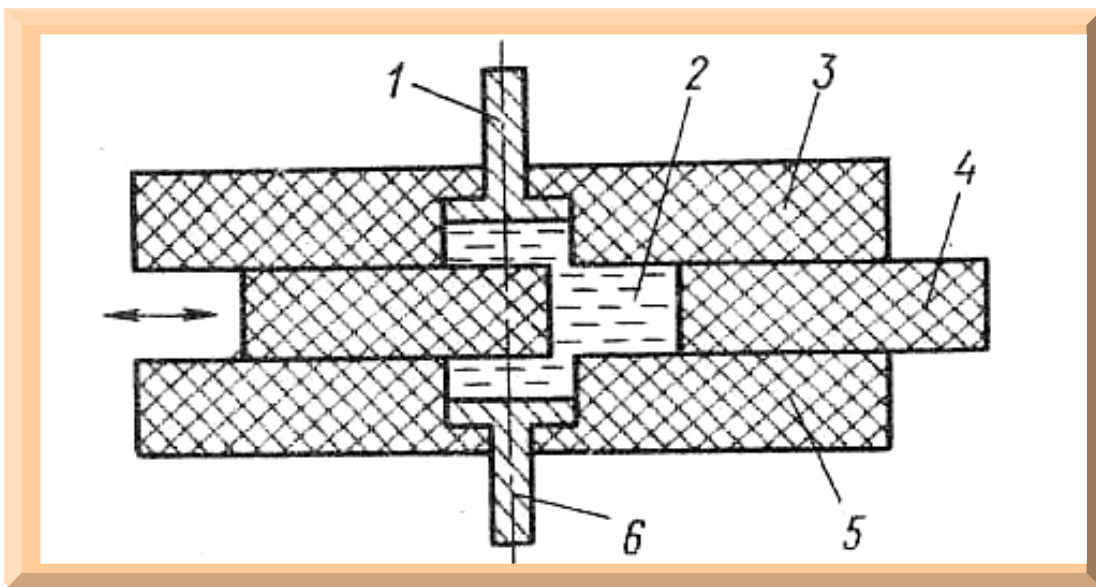


Рис. 85. Коммутационное устройство «режущего» типа

Жидкометаллический коммутационный аппарат «пережимного» типа показан на рис. 86.

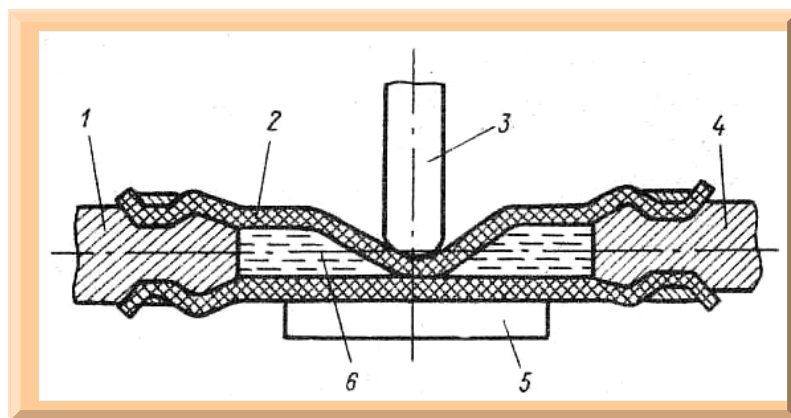


Рис. 86. Коммутационное устройство «пережимного» типа:

1 и 4 - электроды; 2 - эластичная оболочка; 3 - подвижный пережимной элемент; 5 - упор; 6 - жидкий металл. Коммутация осуществляется путем пережима оболочки с жидким металлом.

ГЛАВА 14. РЕЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ

Реле - автоматический аппарат, контролирующий значение какой-либо физической величины, называемой управляющей, и изменяющий значение другой физической величины, называемой управляемой.

Все реле по назначению делятся на три группы:

- **Основные.** Реагируют на основную физическую величину (реле тока, напряжения, мощности, сдвига фаз, частоты).
- **Вспомогательные.** На вход реле сигнал управления поступает от другого реле, например с реле времени или промежуточного реле.
- **Сигнальные реле (указательные).**

Реле разделяют:

- по способу включения катушки в защищаемую цепь (первичные и вторичные).
- по способу воздействия на привод выключателя (реле прямого и косвенного действия).
- по времени действия (быстродействующие и с выдержкой времени).

Реле тока является основным элементом релейной защиты, пусковым органом.

Промежуточные реле предназначены для увеличения числа контактов основного реле, когда при его срабатывании требуется замкнуть (разомкнуть) несколько цепей, а также для замыкания цепей большой мощности, так как обладают мощными контактами.

Указательные реле предназначены для сигнализации срабатывания электрических установок и устройств в схемах релейной защиты и автоматики.

Реле времени используются для создания выдержки времени срабатывания релейной защиты. Диапазон выдержки от 0,1 с до 20 с.

14.1. Дифференциальные реле

В основе дифференциального реле типа РНТ (рис. 87) быстронасыщающийся трансформатор, ко вторичной обмотке которого подключено реле тока РТ-40.

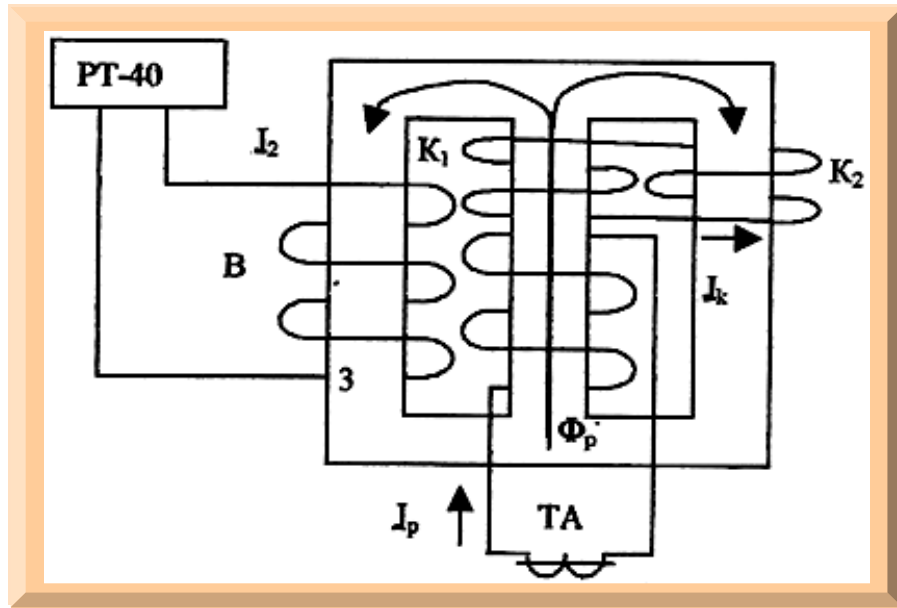


Рис. 87. Дифференциальное реле

Быстронасыщающийся трансформатор состоит из трехстержневого сердечника, на котором расположены следующие обмотки:

- рабочая обмотка **Р** на среднем стержне;
- короткозамкнутая обмотка **K₁** на среднем стержне;
- короткозамкнутая обмотка на правом стержне **K₂**,
- вторичная обмотка **В**, расположенная на левом стержне.

При прохождении по рабочей обмотке симметричного рабочего тока I_p , образуется магнитный поток Φ_p в среднем стержне, который наводит в обмотке **K₁** ток I_k . Этот ток проходит по обмотке **K₂** и создает в правом стержне магнитный поток Φ_k . Потоки Φ_p и Φ_k замыкаются через левый стержень и во вторичной обмотке наводится ток I_2 , вызывающий срабатывание реле **КА**. Таким образом, путём вторичной трансформации и непосредственной трансформации ток I из рабочей обмотки трансформируется во вторичную. Регулировать коэффициент трансформации можно, изменяя число витков уравнивающей и дифференциальной обмотки. Чем больше витков, тем больше магнитный поток, тем больше коэффициент трансформации тока.

14.2. Индукционные реле

Принцип действия *индукционных реле* основан на взаимодействии между индуцированным в проводнике током и переменным магнитным потоком.

В *индукционных реле с рамкой* (рис. 88, а) один из потоков (Φ_2) индуцирует ток в короткозамкнутой обмотке, помещенной в виде рамки в поле второго потока (Φ_1), сдвинутого по фазе.

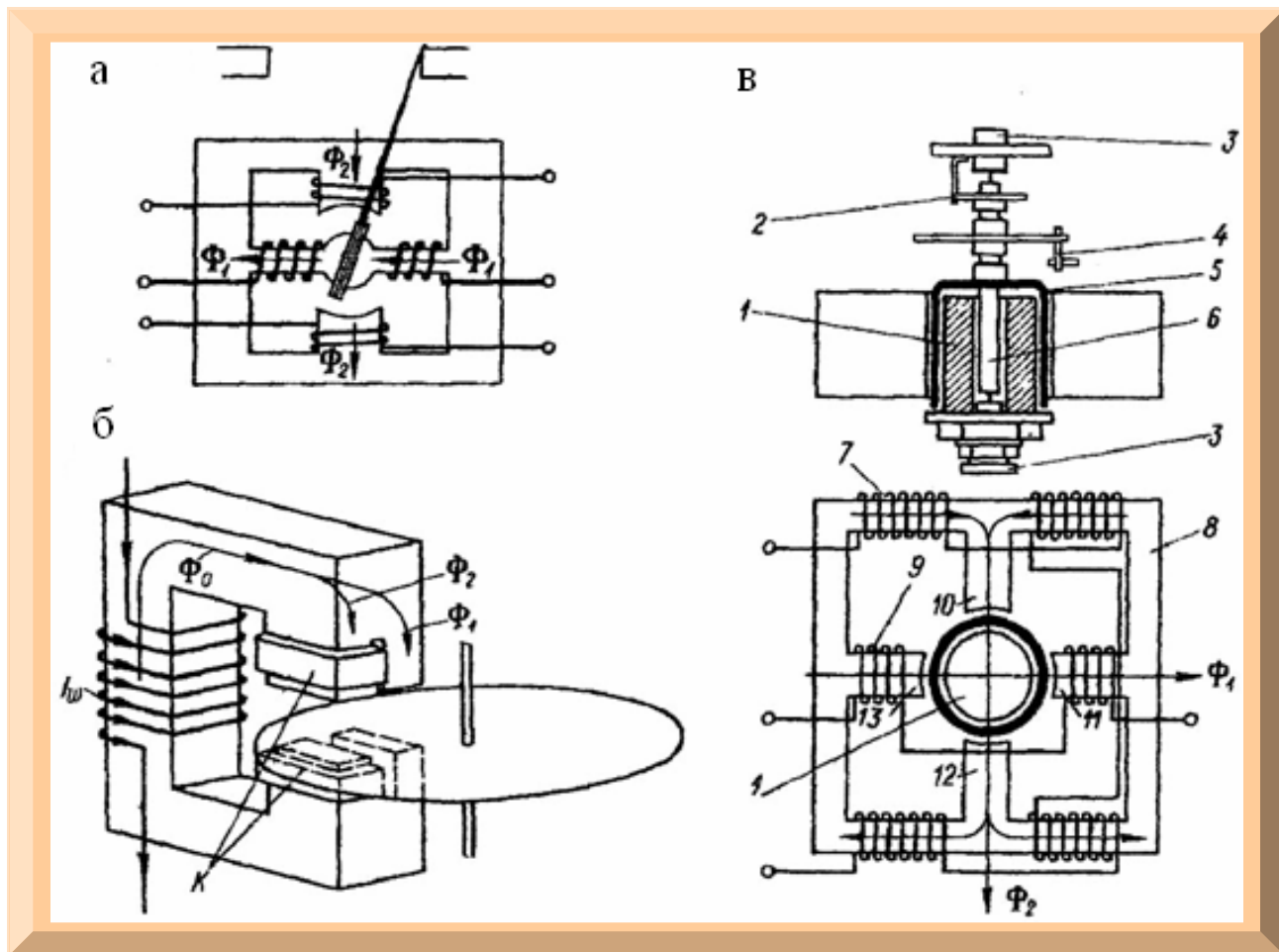


Рис. 88. Схема устройства индукционных реле:

а - с рамкой; б - с диском; в - со стаканом: 1 - стальной цилиндр; 2 - спиральная противодействующая пружина; 3 - подшипники; 4 - вспомогательные контакты; 5 - алюминиевый стакан; 6 - ось; 7, 9 - группы катушек; 8 - ярмо; 10 - 13 - полюсы

Индукционные реле с диском (рис. 88, б) широко распространены. Имеют простую конструкцию и большой вращающий момент, но низкое быстродействие.

Индукционное реле со стаканом (рис. 88, в) имеют подвижную часть в виде стакана, вращающегося в магнитном поле двух потоков четырёхполюсной магнитной системы. Эта система позволяет без существенных изменений получать разнообразные по назначению реле, например, реле мощности.

Реле мощности (рис. 88, в). Реле имеет две обмотки, которые расположены на магнитопроводе с четырьмя выступающими полюсами. Токовая обмотка **9** расположена на двух противоположных полюсах. Обмотка напряжения **7** расположена на ярме и состоит из **4-х** секций. Токовая обмотка подключена через трансформатор тока в защищаемую линию. Обмотка напряжения через трансформатор напряжения подключена к шинам распределительного устройства. Магнитные потоки, создаваемые обмотками **7** и **9**, сдвинуты на **90°**. При взаимодействии потоков с токами в обмотках, образуется вращающий момент, направление которого зависит от направления мощности в защищаемой линии. Этот момент воздействует на алюминиевый стакан **5**, к которому прикреплен подвижный контактный мостик. Неподвижные контакты прикреплены к планке на магнитопроводе.

14.3. Реле тока типа РТ-80

Реле тока типа **РТ-80** работает только на переменном токе. Особенностью этого реле является сочетание в нём двух видов защит:

- **Токовая отсечка мгновенного действия.**
- **Чувствительная токовая защита с зависящей от тока выдержкой времени.**

В реле имеется два основных элемента (рис. 89). Разомкнутый магнитопровод с обмоткой, который в сочетании с алюминиевым диском и тормозным магнитом представляет собой индукционный воспринимающий элемент. Ярмо и якорь представляют собой электромагнитный воспринимающий элемент или токовую отсечку.

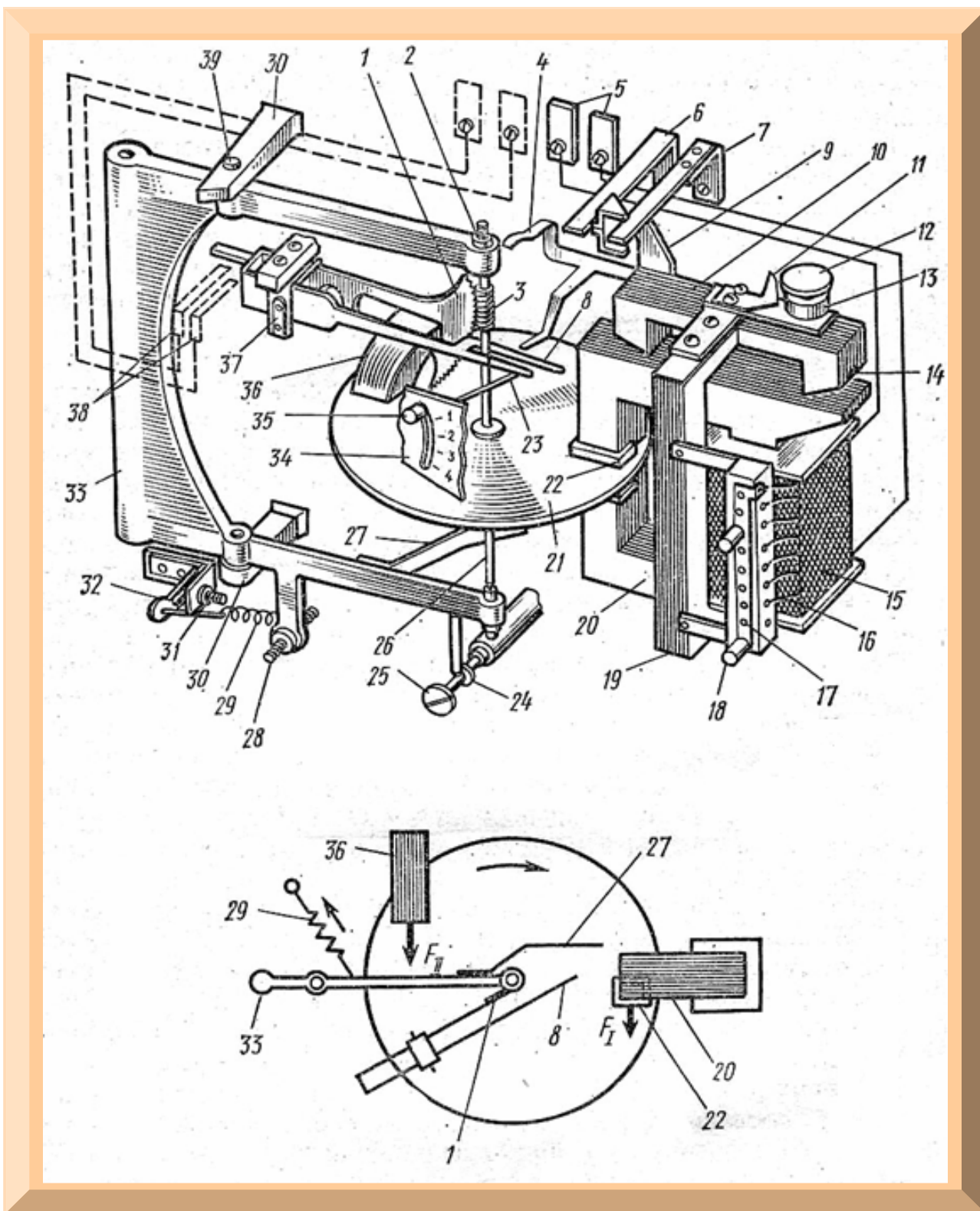


Рис. 89. Реле РТ-80

Исполнительным элементом служат мощные контакты **6** и **7**, что позволяет часто обходиться без промежуточных реле. Промежуточный элемент, связывающий воспринимающий и исполнительный элементы, состоит из червяка **3**, закрепленного на оси **26** алюминиевого диска **21**, и зубчатого сектора **1**, вращающегося на оси, за

крепленной скобой **37**, и опирающегося рычагом **8** на поводок **23**. Последний с помощью винта **35** закрепляется в нужном положении на шкале **34** уставок времени. Ось алюминиевого диска находится в подшипниках **2**, размещенных в теле рамки **33**, которая подвижно установлена в подпятниках **39**, размещенных в стойках **30**. Угол поворота рамки **33** ограничивается упорным винтом **25** с гайкой **24**. Рамка **33** удерживается в исходном положении пружиной **29**, связанной с пружинящей скобой **32**. Изменение положения и натяжение пружины **32** осуществляются регулировочными винтами **28** и **31**.

Для регулирования тока срабатывания обмотка **15** выполнена с ответвлениями **16**, выведенными на штепсельный переключатель **17**. Уставка по току определяется положением штепсельных винтов **18**. Питание к обмотке подается через зажимы **5**.

Регулирование тока срабатывания отсечки осуществляется изменением расстояния между правым концом якоря и магнитопроводом с помощью регулировочного винта **12** со шкалой уставок **13**. Упорная пластинка **11** предотвращает самопроизвольное проворачивание регулировочного винта **12**.

14.4. Реле тока РТ-40

Электромагнитное реле максимального тока **РТ-40** (рис. 90) содержит электромагнитную систему, состоящую из П-образного шихтованного сердечника **6** с обмоткой **5** и поворотного якоря **4**. Якорь **4** закреплен на планке **3**, которая подвижно установлена в цапфах **2**. Оправки **23** цапф размещены в гнездах алюминиевой стойки и закреплены винтами. На планке **3** также закреплены демпфер **1** и пластмассовая колодка **14** с подвижным контактным мостиком **15**, установленным на оси **16**. Для создания противодействующего момента служит спиральная пружина **13**, одним концом связанная с поводком **7** планки **3**, а другим — через втулку **8** и ось **9** с поводком **10**, свободный конец **11** которого является указателем уставок тока срабатывания, нанесенных на шкале **12**.

Неподвижная контактная система закреплена на пластмассовой колодке **20** винтами **19** и состоит из контактных пружин **17** с контактными пластинами **22**, передних **21** и задних **18** упоров.

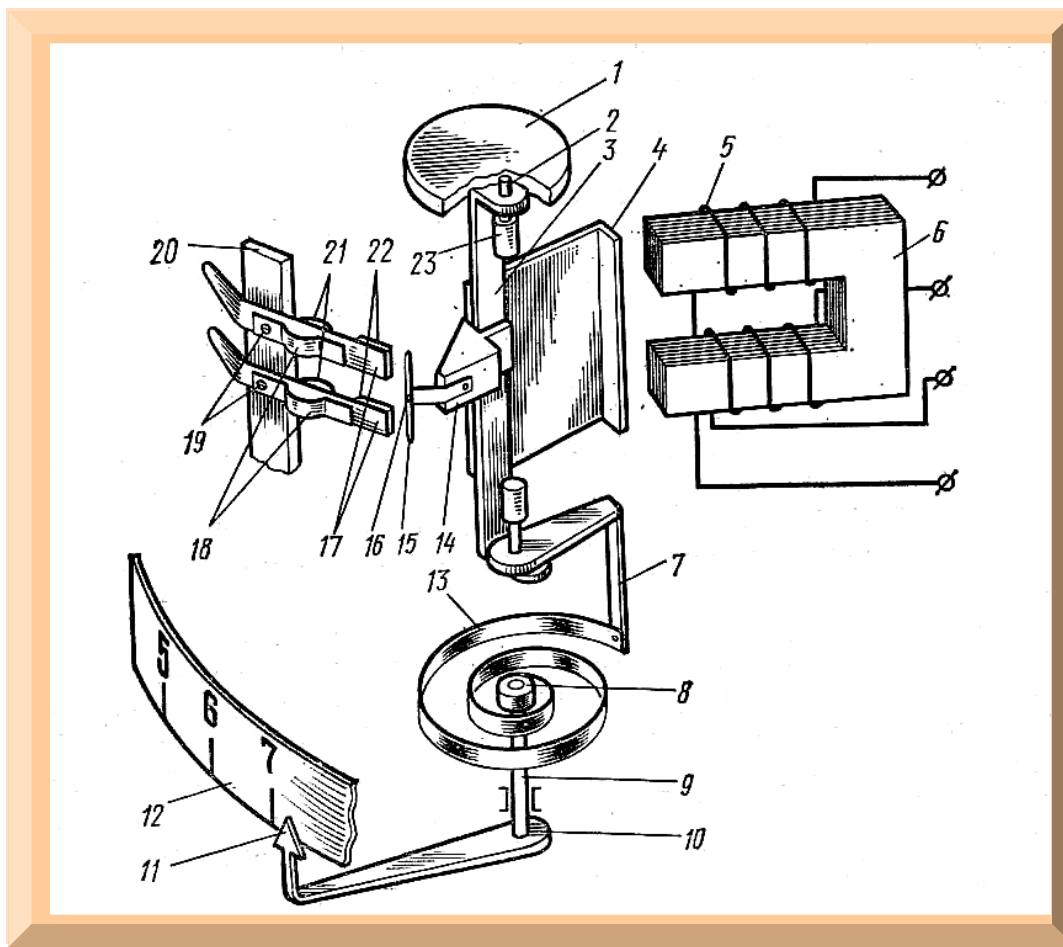


Рис. 90. Реле тока РТ-40

Все рассмотренные части крепятся на алюминиевой стойке, а она в свою очередь — на основании пластмассового корпуса, снабженного съемной крышкой.

Контрольные вопросы

1. Что называется время-токовой характеристикой плавкой вставки?
2. Для чего в пластинчатых плавких вставках делаются суженные места?
3. Что такое металлургический эффект и для чего он применяется?
4. Какими способами гасится дуга в предохранителях?
5. Как влияют условия гашения дуги на время срабатывания предохранителя?
6. Какими расцепителями снабжают выключатели?
7. Каково назначение выключателей гашения магнитного поля?
8. Каково устройство предохранителей серии ПН-2 и ПР-2?
9. Каковы плавкие вставки высоковольтных предохранителей типа ПК и ПКТ?
10. В чем отличие контактных систем контакторов переменного тока и постоянного?
11. Каково устройство кулачкового командоконтроллера?
12. Каков принцип действия бесконтактного путевого выключателя?
13. Как происходит замыкание электрической цепи в электромагнитных ртутных контакторах?
14. Какова контактная система реле тока РТ-40 и РТ-80?
15. Для каких целей применяются автоматические воздушные выключатели?
16. Для чего в выключатель встраивают расцепители?
17. Какие бывают расцепители в автоматических выключателях?
18. Каково назначение расцепляющего устройства?
19. Как осуществляется отключение выключателя при токах перегрузки и токах короткого замыкания?
20. Каково назначение устройств защитного отключения? Перечислите типы УЗО.

РАЗДЕЛ 4. ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

ГЛАВА 15. БЕСКОНТАКТНЫЕ РЕЛЕ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Статические реле - это усилители, у которых усиление столь большое, что на выходе происходит скачкообразное изменение величины, при достижении управляющим сигналом порогового значения.

Различают:

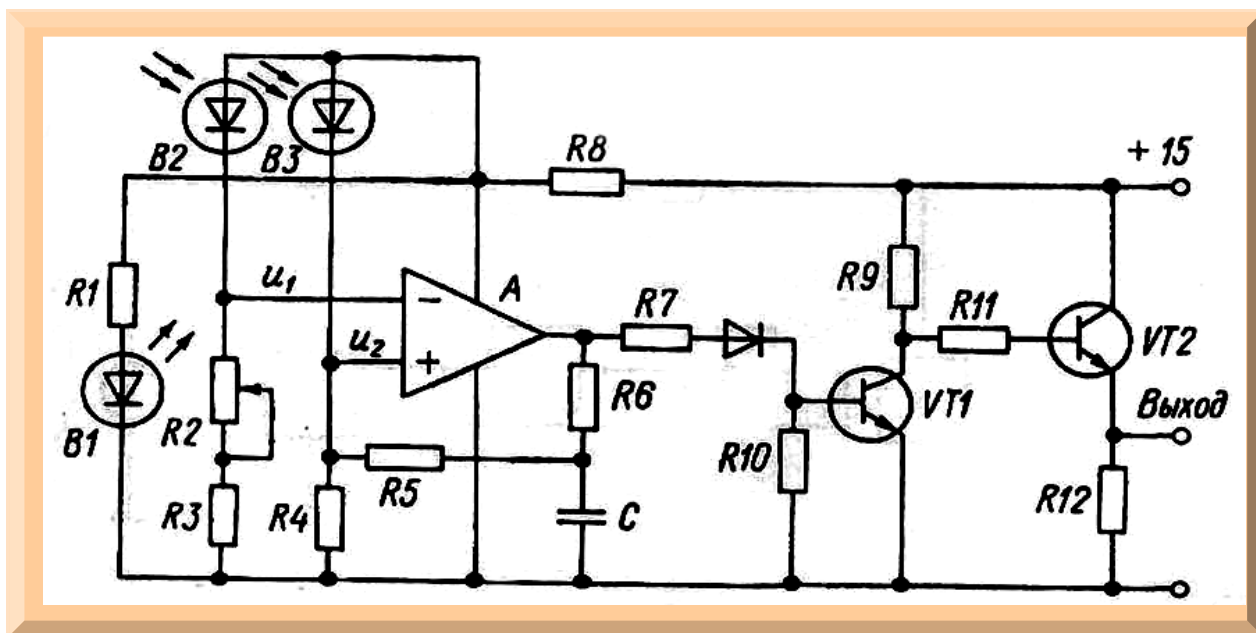
- Статические реле без выходного контакта. Коммутация выходной цепи осуществляется полупроводниковым или магнитным элементом, скачкообразно изменяющим свое сопротивление. Эти реле имеют крупный недостаток - в выключенном положении в цепи нагрузки протекает небольшой ток, поэтому существует связь нагрузки с источником. Такие реле не могут использоваться для полного разрыва цепи.

- Статические реле с выходным контактом. На выходе реле имеется электромагнитный элемент и механические контакты, которые коммутируют цепь по сигналу.

15.1. Статический релейный элемент путевого выключателя

Релейный элемент путевого выключателя – операционный усилитель A с дифференциальным входом и обратной положительной связью на резисторах R_5 и R_6 (рис. 91). Величина и полярность выходного сигнала с усилителя зависит от состояния напряжений U_1 и U_2 . Если $U_1 = U_2$, то на выходе будет нулевой потенциал. Если подать на вход $U_1 < U_2$ - на выходе положительное напряжение. Если подать на вход $U_1 > U_2$ - то на выходе отрицательное напряжение.

Значение напряжений U_1 и U_2 зависит от засветки фотодиодов B_2 и B_3 . В исходном положении путевого выключателя непрозрачный экран закрывает светодиод B_2 , поэтому он закрыт, а B_3 открыт. При этом $U_1 > U_2$. На базе транзистора $VT1$ (+) U и он открывается. Сигнал поступает на базу транзистора $VT2$, на выходе схемы появляется малое напряжение.



**Рис. 91. Схема статического релейного элемента
путевого выключателя**

При движении экрана путевого выключателя светодиод B_2 засвечивается, а B_3 затемняется, значит B_2 открывается, B_3 закрывается. $U_1 = U_2$, затем $U_1 > U_2$ и на выходе операционного усилителя ОУ происходит резкий переброс сигнала с положительного до максимального отрицательного. Транзистор $VT1$ запирается, $VT2$ открывается и на выходе реле появляется большое напряжение. От этого сигнала срабатывает конечный выключатель.

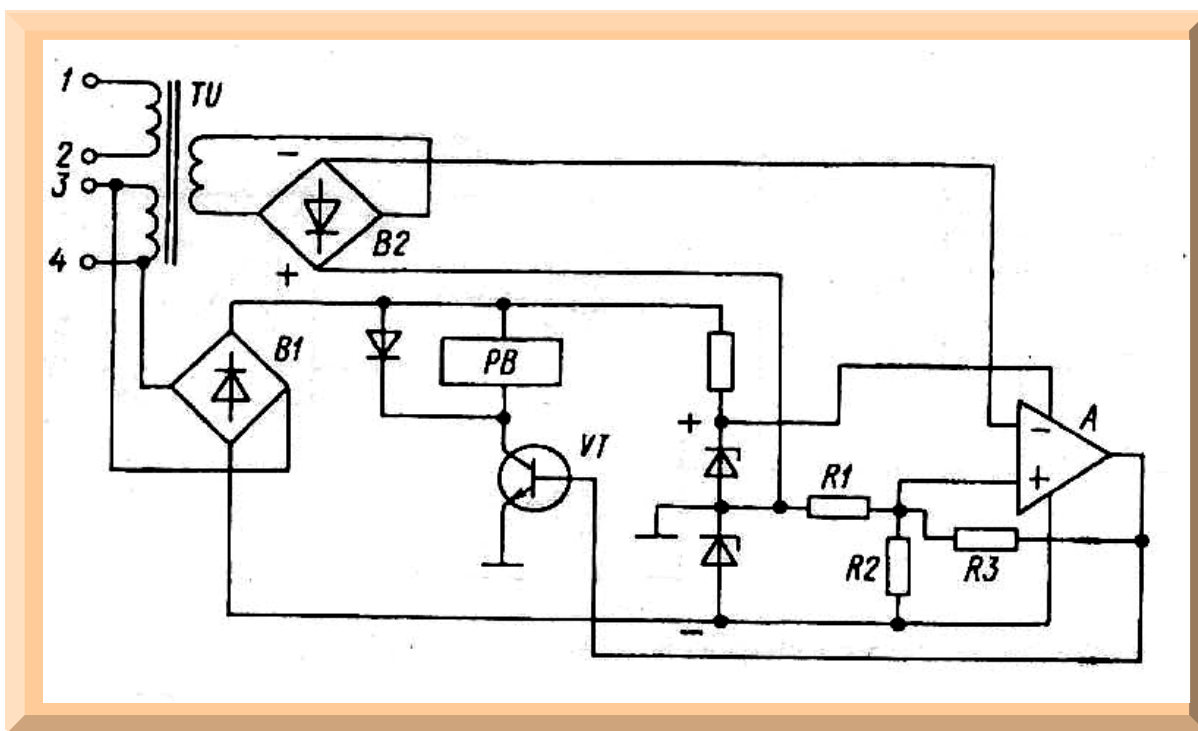
15.2. Статическое реле сдвига фаз серии РСФ-11

Реле имеет выходные электромеханические контакты (рис. 92). Реле используется в схеме автоматического повторного включения АПВ шин электропередач с двухсторонним питанием. Оно контролирует напряжение на линии и сдвиг фаз напряжений на линии и шинах подстанции.

Контролируемое напряжение подается на обмотки 1-2 и 3-4 трансформатора ТВ. Выпрямитель B_1 обеспечивает питание усилительного каскада, выпрямитель B_2 - датчик входного сигнала.

Обмотки 1-2 и 3-4 включены встречно, поэтому напряжение на вторичной обмотке и на выходе B_2 появится, если входные напряжения различаются по значению, либо по фазе. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на дифференциальный вход опера

ционного усилителя **A**. При большом значении входного напряжения $U_{вх}$ (равное значению потенциала на (+) **ОУ**), на выходе **ОУ** полярность напряжения перебрасывается на (+), транзистор **VT** открывается, выходное реле **PB** срабатывает.



15.3. Расцепители полупроводниковые серии РП для автоматов типа АЗ700

Выпрямительный мост **VD** осуществляет функцию питания схемы и функцию измерительного элемента **ИЭ** (рис. 93).

Сигнал с измерительного элемента **ИЭ** снимается с резистора $R_{и}$. Защита от перегрузки выполнена в виде пускового элемента – **РПР** (реле перезагрузки) и элемента замедления **УЭВ** (выдержка времени). Защита от токов короткого замыкания осуществляется пусковым элементом **РКЗ** (реле короткого замыкания) и элементом времени **ЭВ** (срабатывает с выдержкой времени, не зависящей от тока). Выходной сигнал каждого канала поступает на вход реле усиления **РУ**, он открывает тиристор **VS** и конденсатор C_1 разряжается на катушку независимого расцепителя **НР**, что вызывает срабатывание выключателя.

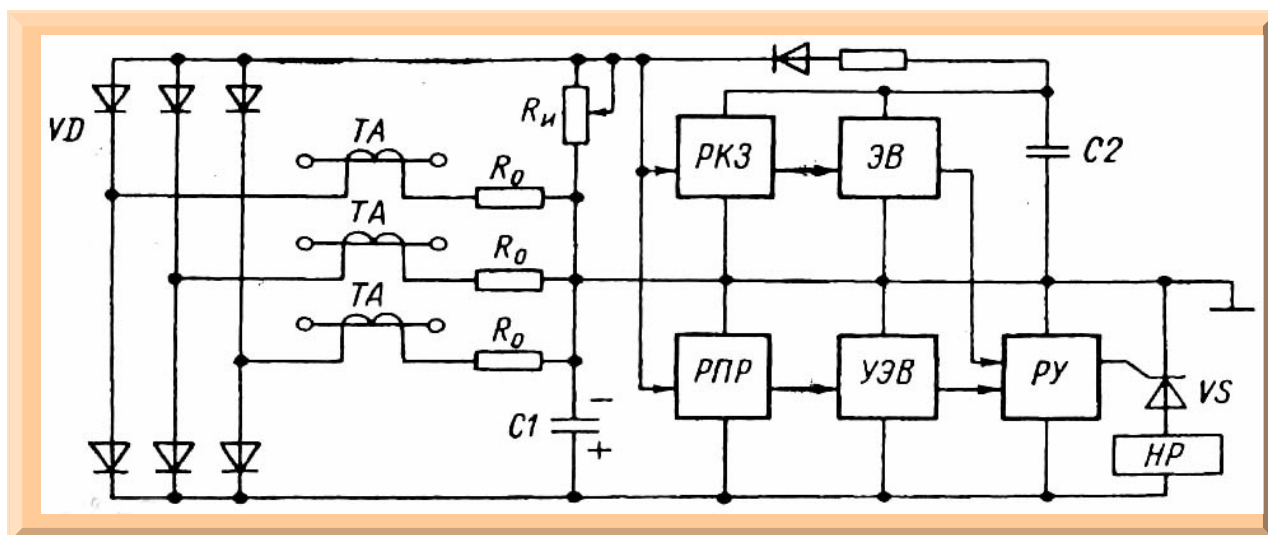


Рис. 93. Структурная схема расцепителя РП для автоматического выключателя типа АЗ700

15.4. Тиристорные пускатели

Пускатели тиристорные серии ПТ. Тиристорные пускатели предназначены для бесконтактной коммутации и защиты в аварийных режимах работы трехфазных двигателей и другой активно-индуктивной нагрузки, обеспечивают выполнение функций пускателей и автоматических выключателей.

Тиристорные пускатели свободны от таких недостатков магнитных пускателей, как подгорание контактов, неодновременность подключения фаз, значительная мощность потребления цепей управления, залипание магнитной системы, вследствие ее намагничивания от источников сильных магнитных полей постоянного тока (что особенно важно в метал-лургических и электролизных производствах), ограниченная частота включений, наличие механически подвижных частей, недостаточное быстроедействие отключения при срабатывании защит.

Конструкция тиристорных пускателей позволяет производить замену электромагнитных выключателей с минимальными издержками. После монтажа практически не требуется проведения предпусковой наладки.

Пускатели типа **ПТ-16-380-У5**, **ПТ-40-380-У5** применяются для дистанционного включения и отключения, а реверсивные пускатели типа **ПТ-16-380Р-У5**, **ПТ-40-380Р-У5** для дистанционного включения, реверса и отключения трехфазных электродвигателей. **ПТК-100-380**, **БПК-1000** — для коммутации и защиты от перегрузок,

коротких замыканий, обрыва фаз; **ПТУ-63-380** — для коммутации и защиты от коротких замыканий и перегрузок.

Нереверсивные пускатели могут использоваться для включения и отключения других видов трехфазных активных нагрузок. Пускатели находят применение на подвижных объектах и в стационарных условиях, на шахтах, в нефтяной, газовой, химической, металлургической и других отраслях промышленности при условии установки их в защитные оболочки, соответствующие условиям эксплуатации, и при наличии в схеме электроснабжения индивидуального или группового аппарата с видимым разрывом цепи.

Пускатели могут работать в следующих режимах:

- **продолжительном**, с числом включений в час не более **10**;
- **повторно-кратковременном** с продолжительностью включения не более **60%**, при частоте до **600** включений в час с номинальными токами нагрузки.

Пускатели работают в диапазоне температур от **-10°С до +50°С**.

Пускатель бесконтактный тиристорный **ПБТ** представляет собой управляемый тиристорный трехфазный регулятор переменного тока с системой регулирования (аналоговая система или микропроцессорная), защиты и сигнализации. Предназначены для управления асинхронными двигателями и коммутации в цепях переменного тока. Функциональная схема пускателя типа **ПБТ** представлена на **рис. 94** – реверсивного, на **рис. 95** – не реверсивного.

Пускатели обеспечивают плавный пуск, параметрическое регулирование скорости и защиту электродвигателя от перегрузок, от обрыва фазы. Обладают высокой надежностью при повышенной частоте коммутации, долговечностью.

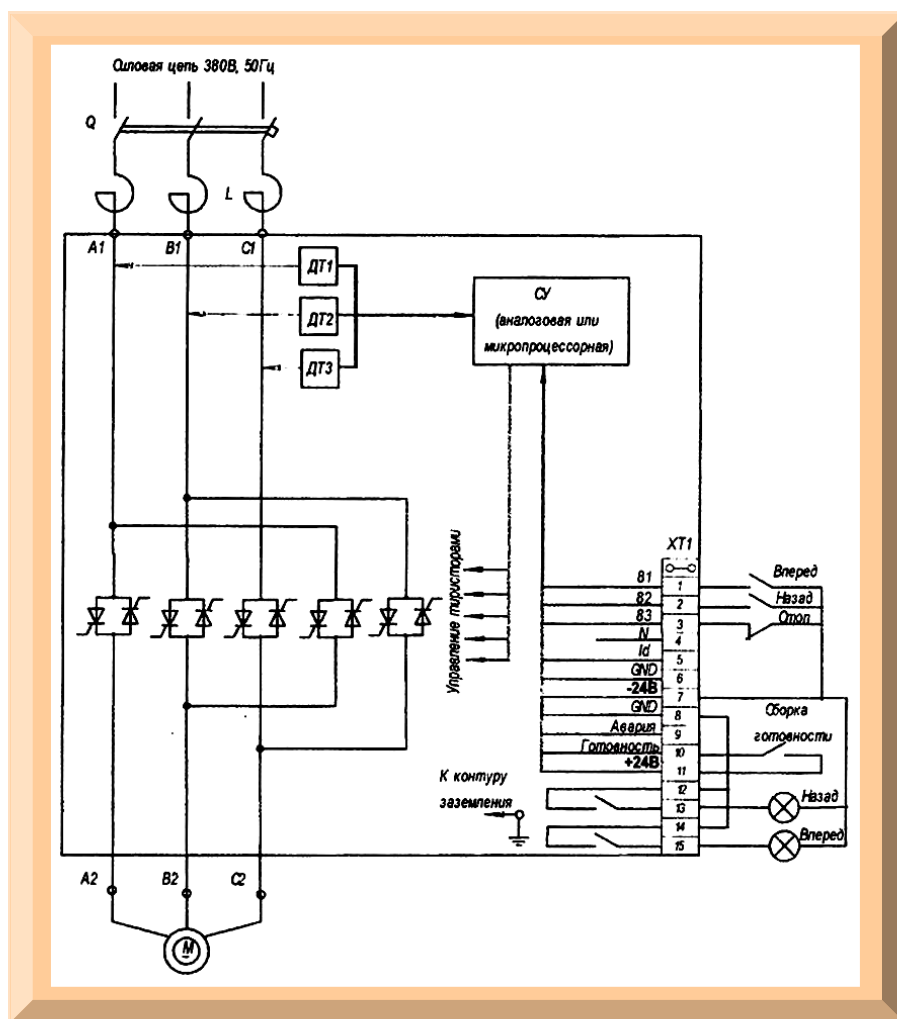


Рис. 94. Функциональная схема пускателя типа РБТ (реверсивного):

Т - трансформатор (до 63 А включительно); СУ - система управления; Q - автоматический выключатель; L - защитный реактор (защитные элементы L к Q расположены во внешней цепи)

Значительное снижение эксплуатационных расходов по сравнению с контактной аппаратурой. Плавный пуск позволяет исключить снижение напряжения сети при пуске мощных электродвигателей

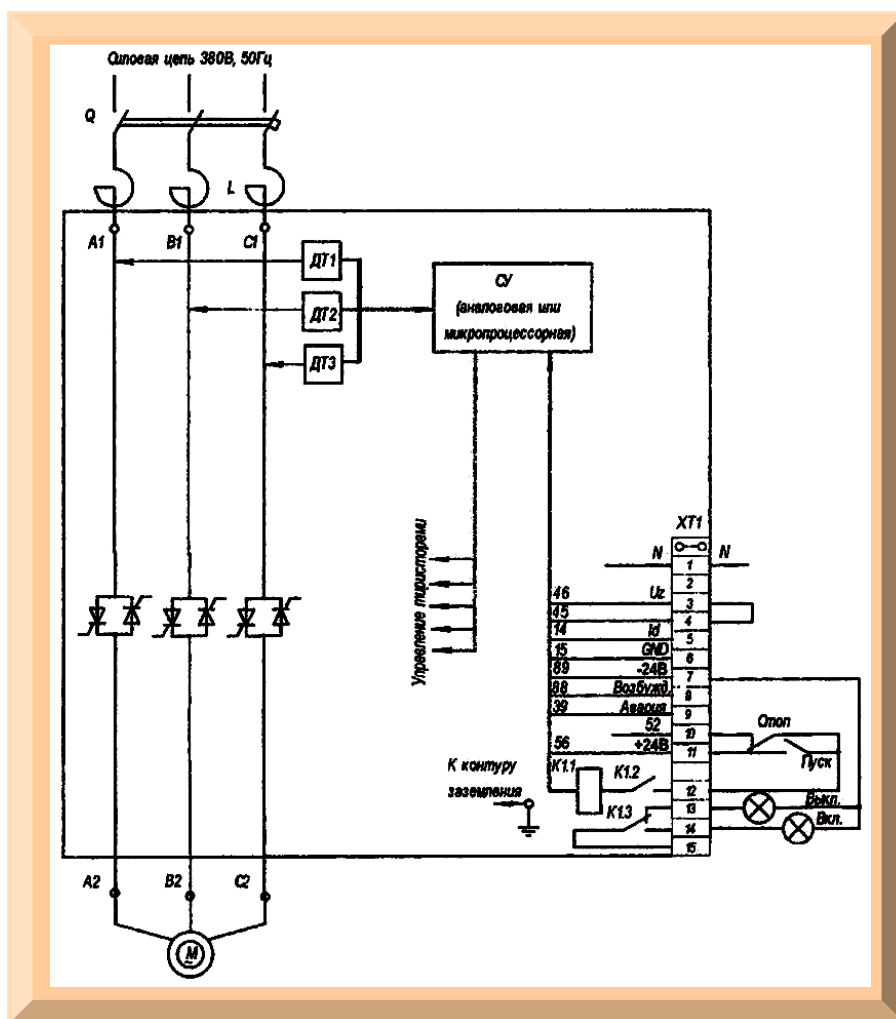


Рис. 95. Функциональная схема пускателя типа ПБТ (нереверсивного):

Т - трансформатор; СУ - система управления; Q - автоматический выключатель; L - защитный реактор (защитные элементы L к Q расположены во внешней цепи)

Обеспечивают регулирование частоты вращения механизмов с вентиляторным моментом на валу (насосы, вентиляторы) в полном диапазоне.

Реверсивные пускатели обеспечивают реверс (изменение направления вращения) двигателя путем бесконтактного переключения фаз с заданным токоограничением.

Пускатель имеет следующие защиты:

- при превышении мгновенного значения тока предельной величины;
- от перегрузки электродвигателя превышающей заданную величину в течение определенного времени;
- от обрыва фазы двигателя;
- при исчезновении напряжения силовых цепей (при восстановлении напряжения отсутствует "самоход" электропривода);

- блокировку от включения пускателя при наличии сигнала о неисправности.

Пускатель имеет следующую сигнализацию:

- о наличии напряжения на пускателе;
- о срабатывании защит.

Пускатель обеспечивает:

- задание различных темпов нарастания пускового тока асинхронного двигателя изменением скорости нарастания задания на входе регулятора тока;
- ограничение пускового тока и тока перегрузки асинхронного двигателя на заданном уровне с погрешностью не более 10 %.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение статического реле серии РСФ-11?
2. Каково устройство полупроводникового расцепителя для автоматического выключателя типа АЗ700?
3. В чем отличие реверсивного и нереверсивного пускателей?
4. Для чего необходимы тиристорные пускатели?

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Раздел 1. Общая теория электрических аппаратов	
Глава 1. Тепловые и электродинамические явления в аппаратах.....	6
Глава 2. Электрические контакты.....	11
2.1. Физические явления в электрическом контакте.....	11
2.2. Переходное сопротивление контакта.....	13
2.3. Основные конструкции контактов.....	17
Глава 3. Способы гашения электрической дуги.....	24
3.1. Процессы коммутации электрических цепей.....	24
3.2. Способы гашения электрической дуги.....	25
3.3. Бездуговая коммутация.....	31
Раздел 2. Аппараты высокого напряжения	
Глава 4. Высоковольтные выключатели.....	34
4.1. Общие сведения.....	34
4.2. Выключатели масляные	35
4.3. Выключатели воздушные	38
4.4. Выключатели вакуумные	41
4.5. Выключатели элегазовые	43
4.6. Выключатели электромагнитные	43
Глава 5. Разъединители, отделители и короткозамыкатели.	
Выключатели нагрузки.....	46
5.1. Разъединители.....	46
5.2. Отделители и короткозамыкатели.....	47
5.3. Выключатели нагрузки.....	50
Глава 6. Токоограничивающие реакторы. Разрядники.....	53
6.1. Реакторы.....	53
6.2. Разрядники.....	54
Глава 7. Трансформаторы тока и напряжения.....	59
7.1. Трансформаторы тока.....	59
7.2. Трансформаторы напряжения.....	60
Раздел 3. Аппараты низкого напряжения.	
Глава 8. Автоматические выключатели.....	63
8.1. Выключатели общего назначения.....	63
8.2. Токоограничивающие выключатели.....	68
8.3. УЗО - устройство защитного отключения.....	73
Глава 9. Выключатели неавтоматические.....	83

9.1. Рубильники и переключатели.....	83
9.2. Разъединители многоамперные.....	84
9.3. Выключатели и переключатели пакетные.....	86
Глава 10. Предохранители.....	87
10.1. Предохранители низкого напряжения.....	88
10.2. Предохранители высокого напряжения.....	93
Глава 11. Контактторы электромагнитные.....	94
11.1. Комбинированные дугогасительные устройства контакторов переменного тока.....	94
11.2. Контактторы переменного тока вакуумные.....	95
11.3. Пускатели магнитные.....	96
Глава 12. Аппараты управления.....	98
12.1. Универсальные выключатели.....	98
12.2. Командоконтроллеры.....	99
12.3. Путевые и конечные выключатели.....	100
12.4. Бесконтактные путевые выключатели.....	101
12.5. Кнопочные выключатели.....	102
Глава 13. Аппараты с жидкометаллическими контактами.....	106
Глава 14. Реле электромеханические.....	112
14.1. Дифференциальное реле.....	113
14.2. Индукционное реле.....	114
14.3. Реле тока РТ-80.....	115
14.4. Реле тока РТ-40.....	117
Раздел 4. Электронные аппараты	
Глава 15. Бесконтактные реле и выключатели.....	120
15.1. Статический релейный элемент путевого выключателя.....	120
15.2. Статическое реле сдвига фаз РСФ11.....	121
15.3. Расцепители полупроводниковые серии РП для автоматов типа АЗ700.....	122
15.4. Тиристорные пускатели.....	123
Содепжание.....	128
Библиографичекий список.....	130

Библиографический список

Гаев И. С., Б. К. Буль, А. Г. Годжелло. Основы теории электрических аппаратов; под редакцией Л. С. Гаева, М., Высшая школа, 1987г. – 524 с.

Кузнецов Р. С. Аппараты распредустройств низкого напряжения. – М.: ГЭИ, 1962. – 543 с.

Могилевский Г. В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1986.

Намитоков К. К., Хмельницкий Р. С., Аникеева К. Н. Плавкие предохранители. – М.: Энергия, 1979. - 128 с.

Айзенберг Б. Л. Плавкие предохранители в установках напряжением до 1000 В. -М.: Госэнергоиздат, 1955.-168 с.

Родштейн Л. А. Электрические аппараты, Л., Энергоиздат, 1989 г. – 303 с.

Розанов Ю. К. Основы силовой электроники. М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.

Таев И. С. Электрические аппараты автоматики и управления. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 247 с.

Цикановская М. И. Автоматические воздушные выключатели. Предохранители: Методические указания. - Оренбург: ОГУ, 1999. – 26 с.

Чунихин А. А. Электрические аппараты: Общий курс: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 720 с.

Шопен Л. В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1986.

Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2002. – 255 с. «Электрозавод». Каталог номенклатуры изделий на 2003 г. – М.: Электрозавод, 2003. – 84 с.

Зименкова М. Г. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий, под редакцией М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Фесонова, М., Энергоатомиздат, 1983 г. М – 236 с.

Каменев В. Н. Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок, М, Высшая школа, 1981г. – 240 с.

Орлов И. Н. Электротехнический справочник в 4-х т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства. Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. – 8-е изд. испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 518 с.

Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания. М.: Энергоатомиздат, 1990.

Чунихин А. А. Электрические аппараты высокого напряжения: Справочник. Т. 1. Выключатели. – М.: Информэлектро, 1994.

Чунихин А. А. Электрические аппараты высокого напряжения: Справочник. Т. 2. Выключатели. – М.: Информэлектро, 1996.

Защитные аппараты. Ограничители перенапряжений. Каталог ЗЭО. – Великие Луки, 2001. – 30 с.

НПП «Промэлектроавтоматика». Номенклатурный каталог. – М.: 2000. – 113 с. (<http://www.pea.ru>).

Реле и автоматика. Краткий справочник по текущему ассортименту. – М.: Реле и автоматика, 2003. – 88 с. (<http://www.rele.ru>).